

日本フルードパワーシステム学会誌

JOURNAL OF THE JAPAN

FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

フルードパワー システム

Nov.2012 Vol.43 No.6

日本フルードパワーシステム学会論文集

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

特集「フルードパワーにおける組み込みシステム」

——目 次——

特集「フルードパワーにおける組み込みシステム」

【巻頭言】

「フルードパワーにおける組み込みシステム」発行にあたって 吉満 俊拓 343

【総論】

組み込みシステムがフルードパワーにもたらすこと 小山 紀 344

【解説】

歩行リハビリ訓練用高機能靴 早川 恭弘 347

ショックレス切換弁 北村 修 350

電子制御ミキサ車 川島 茂 353

スマートポジション 渡邊 崇 356

デジタル電空レギュレータ —マイコン搭載により高機能化を実現— 吉田 享平 359

【解説】

油圧回路設計・動特性解析用シミュレーションパッケージOHC-Simの現状 桜井 康雄 362

阿佐ヶ谷プロジェクト—3次元免震建物の地震観測（後編） 高橋 治 365

【FPIC会議報告】

ROBOMECH2012におけるフルードパワー技術研究動向 金 俊完 370

【教室】

おもしろ油圧機構 第9回 ハイドロスタティックトランスミッション 大橋 彰 373

おもしろ空気圧「空気圧システムの合成計算」 妹尾 満 376

入門講座「流体力学」第2回：ものの見方を変えよう 高橋 勉 378

【研究室紹介】

東京都市大学高機能機械制御研究室 佐川 祐貴, 鈴木 勝正 383

【コーヒーブレイク】

特許よもやま話 木原 和幸 382

【会告】

日本フルードパワーシステム学会平成24年度受賞候補者募集 338

平成24年秋季フルードパワーシステム講演会のお知らせ 339

平成24年度ウィンターセミナーのご案内 340

電子投稿・審査システム導入について 341

学会誌に掲載された記事の著作権の帰属確認について 342

共催・協賛行事のお知らせ 372

資料一覧 386

フルードパワーシステム第43巻総目次 389

その他 337, 341, 392

■表紙デザイン：山本 博勝 (株)豊島

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22 機械振興会館別館102

TEL：03-3433-8441 FAX：03-3433-8442

E-Mail：info@jfps.jp

**JOURNAL OF
THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY**

FLUID POWER SYSTEM

Vol. 43, No. 6

November 2012

——Contents——

Special Issue “Embedded system in Fluid Power”

【Preface】

Publishing “Embedded system in Fluid Power” Toshihiro YOSHIMITSU 343

【Survey】

Contribution of the Embedded System for the Fluid Power System Osamu OYAMA 344

【Review】

High Performance Shoes for Walking Rehabilitation Yasuhiro HAYAKAWA 347

Shockless Directional Control Valve Osamu KITAMURA 350

Electronic Control Type Mixer Truck Shigeru KAWASHIMA 353

Smart Positioner Takashi WATANABE 356

Digital Electro-Pneumatic Regulator —High Performance with Built-in Microcomputer—
Kyouhei YOSHIDA 359

【Review】

Simulation Package OHC-Sim for Design of Oil-hydraulic Circuit and Analysis of its Dynamic
Characteristics Yasuo SAKURAI 362

Asagaya Project—A Study on Earthquake Observation Record in the Building using the Three-
dimensional Seismic Isolation System—Part II — Osamu TAKAHASHI 365

【FPIC Report】

Research Trend Concerning the Fluid Power Technology at ROBOMECH2012 Joon-wan KIM 370

【Lecture】

The Interesting Mechanism of Hydraulic Components No.9 Hydrostatic Transmission
Akira OHASHI 373

Interesting Pneumatic Technology — Composition Calculation for Pneumatic System
Mitsuru SENO 376

An Introductory Course of Fluids Mechanics : The second : Change your perspective!
Osamu TAKAHASHI 378

【Laboratory Tour】

Advanced Control Systems Laboratory, Tokyo City University
Yuki SAGAWA, Katsumasa SUZUKI 383

【Coffee Break】

Kazuyuki KIHARA 382

【JFPS News】

337, 338, 339, 340, 341, 342, 372, 386, 389, 392

会 告

〈理事会・委員会日程〉

11月2日	委員長会議
11月16日	企画委員会
11月19日	理事会
12月4日	編集委員会
1月8日	情報システム委員会
12月14日	基盤強化委員会

〈第3回 理事会〉

9月27日 15:00～17:00 機械振興会館6—62
(出席者19名)

- 1) 平成24年春季講演会論文賞審査結果について
- 2) 学会紹介パンフレットについて
- 3) 平成24年度フェロー認定者推薦について
- 4) 会長・副会長会議に関する運営規程について
- 5) 表彰規程の改訂について
- 6) 各委員会の運営規程について
- 7) 財務基盤の強化について
- 8) 各委員会間の迅速な意思疎通と迅速なアクションについて
- 9) 会員の推移と入退会者について
- 10) その他

〈委員会報告〉

第3回委員長会議

8月31日 15:00～17:00 機械振興会館B3—7
(出席者11名)

- 1) 平成24年春季講演会論文賞審査結果について
- 2) 平成24年秋季講演会の準備状況について
- 3) 学会紹介パンフレットについて
- 4) 平成24年度フェロー認定者推薦について
- 5) 会長・副会長会議に関する運営規程について
- 6) 各委員会の運営規程について
- 7) 財務基盤の強化について
- 8) 各委員会間の迅速な意思疎通と迅速なアクションについて
- 9) その他

第2回企画委員会

9月18日 14:30～17:00 機械振興会館B3—9
(出席者14名)

- 1) 平成24年度実施事業に関する報告・審議事項
 - ・公益事業について、終了報告
 - ・オータムセミナーについて

- ・平成24年秋季講演会について
- ・ウインターセミナーについて
- ・その他

2) 平成25年度実施の事業に関する報告・審議事項

- ・春季講演会について
- ・講演会併設セミナーについて
- ・秋季講演会について
- ・オータムセミナーについて
- ・公益事業について

3) 確認事項

- ・会誌11月号の掲載予定会告記事について
- ・ウインターセミナー開催会告
- ・企画委員会規程について
- ・WGの構成について
- ・その他

第3回編集委員会

10月5日 14:00～17:00
東京工業大学 大岡山キャンパス
(出席者14名)

- 1) 会誌特集号の現状と企画について
- 2) トピックスについて
- 3) 会誌フォーマットの改定について
- 4) 編集委員会規程について
- 5) FPIC会議報告記事について
- 6) 学会誌に掲載された記事の著作権の帰属確認について

第3回基盤強化委員会

10月18日 15:00～17:00 機械振興会館B3—7
(出席者9名)

- 1) 会員サービスについて
- 2) 若手フルードパワー育成道場について
- 3) フルードパワー・バーチャルミュージアムについて
- 4) 委員会規程について
- 5) その他

会 告

日本フルードパワーシステム学会 平成24年度受賞候補者募集

当学会は、我が国の油圧・空気圧・水圧工学を始めとするフルードパワーシステムの振興と発展の奨励を目的として毎年優れた研究・技術を表彰しております。本年も当学会の「表彰規程」に基づき、日本フルードパワーシステム学会平成24年度受賞候補者を募集いたします。

つきましては、独創的な研究、画期的な新技術、累積効果抜群な研究者、技術者などについて、下記募集要項をご覧いただき、適格な受賞候補者をご推薦ください。

募 集 要 項

1. 受賞候補者の資格

受賞候補者の資格は本学会の正会員および法人である賛助会員に属する者とする。ただし、共同研究者、共同開発者のある場合はその者の資格については、その限りでない。

2. 募集方法

公募によるものとし、当学会の賛助会員、正会員、あるいはフルードパワー工業団体、フルードパワー関係学協会の推薦、または本人の申請によるほか、本学会内の委員会の推薦による。

3. 応募対象

- (1) **学術論文賞** 過去数年以内に発行された日本フルードパワーシステム学会誌、論文集、あるいは本学会主催の国際シンポジウムのプロシーディングスに掲載された研究論文の著者（連名も可）。
- (2) **学術貢献賞** 多年フルードパワー工学・技術に携わり、その間数多くの論文を発表して、当該工学・技術分野に多大の貢献をし、その累積効果が抜群であって、しかも学会に対する貢献大なる研究者。
- (3) **技術開発賞** 過去数年以内に完成を遂げた油圧・空気圧・水圧・その他の流体圧に関する新技術の開発者とする。ただし、当該製品は市場で6ヶ月以上使用実績があることが望ましく、選考の際は特許（もしくは新案）の申請も参考とする。応募者が連名の場合は、筆頭者を含めて5名以内とする。
- (4) **技術功労賞** 多年フルードパワー技術に携わり、この間数々の技術改良を行うなどして当該技術の向上に貢献しその累積効果が抜群の技術者（長年にわたる技術的な功績を重視し、候補者の年齢は原則として50歳以上とし、現在の事業所における役職についてはこだわらないが、業績があまり世に知られていない技術者を積極的に推薦する）。

4. 提出書類

推薦者または申請者は必ず当学会所定の「推薦書・申請

書」用紙を使用し、1件につき4通提出するものとする（推薦書・申請書用紙は学会事務局info@jfps.jp Tel: 03—3433—8441までご請求ください。各賞《下記のSMC賞も含む》ごとの用紙をお送りします）。

5. 提出締切日

平成24年12月5日までに着信のこと。

6. 提出先および問合せ先

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番22号

機械振興会館 別館102

(社)日本フルードパワーシステム学会事務局

TEL: 03—3433—8441

E-mail: info@jfps.jp

7. 表 彰

表彰は選考された受賞者に対して賞状と副賞を贈与する。共同研究および共同開発の場合は賞状を共同研究者および共同開発者にも贈る。表彰は原則として学術論文賞2件以内・学術貢献賞1件・技術開発賞2件以内および技術功労賞若干件とする。

8. 表彰の時期

表彰は平成25年5月開催の第32期通常総会でおこなう。

「SMC賞」

SMC株式会社殿のご寄付を基金として、標記のごとく「SMC賞」が設けられており、新進気鋭の方々の多数応募をお待ちしています。

1. 応募資格

学会の正会員、学生会員および法人である賛助会員に所属する者のうち、原則として年齢満40才未満の研究者・技術者とする。ただし、大学院生の場合は年齢に制限を設けない。また一度受賞した者は、重ねて受賞することができない。

2. 応募対象となるもの

過去数年以内に発行された日本フルードパワーシステム学会誌「フルードパワーシステム学会論文集」または講演論文集に掲載された研究論文の著者とする。

3. 表 彰

表彰は、選考された受賞者に対して、賞状と副賞の贈与をもって行う。副賞は論文1篇に対し10万円とする。表彰は原則として2件以内とする。

会 告

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催
平成24年秋季フルードパワーシステム講演会のお知らせ

開催日：平成24年11月29日(木)，30日(金)

講演会概要

平成24年秋季フルードパワーシステム講演会は，福岡工業大学（福岡県福岡市）で開催いたします。会期は11月29日（木），30日（金）の2日間です。本講演会では，一般講演に加え，オーガナイズドセッションとして「機能性流体との融合化によるフルードパワーシステムの新展開」，「省エネ化とフルードパワー」，「フルードパワーを用いた超精密位置決めと加工技術」を企画いたしました。また，特別講演・基調講演・学内見学会・技術懇談会などを計画しております。

特別講演，基調講演は下記を予定しております。

〈特別講演（一般公開）：「産学官協力とイノベーション」〉

11月29日（木）開場16：00，講演16：30～17：30，麻生 渡 氏（前福岡県知事，学校法人福岡工業大学最高顧問）

〈基調講演〉

11月30日（金）15：00～16：00

「風レンズ技術を利用した流体機械と洋上浮体式エネルギーファーム」

大屋 裕二 先生（九州大学応用力学研究所所長）

「Potential of Small-Scale Hydro as a Viable Source of Renewable Energy」

Yves Gagnon 先生（Professor, Université de Moncton, Canada）

1. 開催日時：平成24年11月29日（木）9：00～平成24年11月30日（金）17：00（予定）（受付開始8：15）

2. 会 場：福岡工業大学FITホール

〒811-0295 福岡県福岡市東区和白東3丁目30-1

TEL. 092-606-3131（代表） FAX. 092-606-8923（<http://www.fit.ac.jp/>）

3. 講演会のプログラム：11月上旬に学会ホームページ（<http://www.jfps.jp>）に掲載予定です。

4. 講演会の形式：

- (1) 講演時間：1題目につき20分（講演15分，討論5分）です。
- (2) 座 長：会員の中からあらかじめ見識ある方を人選します。
- (3) 講演論文集：申込講演の前刷原稿をオフセット印刷し，一冊に編集します。
- (4) 討 論：講演発表時に5分間の討論の時間を設けてありますが，さらに講演会終了後1ヶ月間は会員より「書面による討論」を受け付けています。講演者はその討論に対して学会へ書面をもって回答することを原則とします。
- (5) 論文集への投稿：講演者は講演会終了後の討論締め切後，「日本フルードパワーシステム学会論文集」に投稿できます。

5. 参加登録：

- (1) 講演会の参加者は参加登録が必要です。参加登録は，学会ホームページ（<http://www.jfps.jp>）上で行ってください。詳細はホームページをご覧ください。
- (2) 登録料：登録料には各種講演の聴講料および講演論文集1冊の代金が含まれます。なお，参加登録者は，11月29日18時から開催予定の技術懇談会に参加することができます。

正会員・賛助会員企業の社員・シニア員・ジュニア員	名誉員・学生会員	日本フルードパワー工業会会員企業の社員，共催・協賛団体の会員（正会員）	一般
20,000円	15,000円	22,000円	25,000円

注1 会員資格について不明な点は，事務局までお問い合わせください。

注2 同一の講演者が複数の講演を行う場合，2件目以降は，1講演につき7,000円が加算されます。

- (3) 別売り講演論文集料金：登録料に含まれる1冊の講演論文集とは別に論文集を購入される場合，正会員・名誉会員・賛助会員企業の社員6,000円，フルードパワー工業会会員企業社員，協賛・共催団体社員8,000円，一般10,000円で当日受付にて購入できます。また，学会ホームページから講演論文集申込書をダウンロードしE-mailに添付して学

会宛 (info@jfps.jp) に送信する方法でも購入できます。ただし、発送は講演会終了後となります。

6. 学内見学会

11月29日(木) 15:00 ~ 16:00 福岡工業大学の学内見学会を実施いたします。

7. 会員証について：会員証（カード）をお持ちの方は、当日ご持参ください。

8. 連絡先：（一社）日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-22 機械振興会館 別館102

E-mail info@jfps.jp TEL 03-3433-8441 FAX 03-3433-8442

会 告

日本フルードパワーシステム学会主催

平成24年度 ウィンターセミナーのご案内

「アクアドライブシステム（新水圧駆動技術）の現状と将来」（仮題）

平成24年度ウィンターセミナーは下記要領にて開催する予定で準備を進めております。詳細は学会ホームページおよび平成25年1月号の会告にてご案内いたします。

趣 旨：

20世紀末にスタートしたアクアドライブシステム（新水圧駆動技術）のスタート当初の目的は地球環境問題に立脚するものであった。すなわち、油圧作動油による環境汚染を防止するため従来の油圧システムの代替という考え方が主であった。しかしながら、現在では、油圧、空気圧、電動駆動システムという従来の駆動システムを適用するのが困難な分野に用いる第4の駆動源としての位置づけを目指し、アクアドライブシステムの研究開発が各所で進められている。その結果、本学会の講演会にもその成果が徐々に発表されるようになってきた。本セミナーでは、このようなアクアドライブシステムに着目し、その技術の現状と将来を展望します。

開催日：平成25年2月下旬あるいは3月上旬

講師：池尾 茂（上智大学教授）、伊藤和寿（芝浦工業大学教授）、中尾陽一（神奈川大学教授）、宮川新平（KYB㈱）

会場：機械振興会館 http://www.jcmanet.or.jp/gaiyo/map_kaikan.htm

受講料（事前登録の金額）：正会員・賛助会員企業の社員	14,000円
名誉員、シニア員・ジュニア員、学生会員	5,000円
工業会会員企業の社員、共催・協賛団体の正会員	16,000円
一般	19,000円

会 告

電子投稿・審査システム導入について ～ 2013年1月1日受付より電子投稿に移行します～

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

会長 香川 利春

論文集委員長 築地 徹浩

本学会では、油圧、空圧、水圧および機能性流体に関する研究成果の情報誌として、日本フルードパワーシステム学会論文集およびJFPS International Journal of Fluid Power Systemを発行しております。

この度、インターネット環境の社会的な普及に伴い、論文投稿・審査システムの電子化について、検討してまいりました結果、2013年1月1日より電子投稿・審査システムの正式運用を開始することといたしましたので、お知らせいたします。

このシステムを利用することにより、論文投稿・審査プロセスをWEB上で一元管理することができます。このことにより、投稿者の利便性の向上、編集作業の効率化、論文投稿から掲載に至るまでの期間短縮など、より一層の会員サービス向上を目指します。

上記趣旨により、現在の投稿受付は、2012年12月31日（本会必着）をもって終了させていただきます。

会員各位の深いご理解とご協力をお願い申し上げます。

会 告

会 員 移 動

会員の種類	正 会 員	海 外 会 員	学 生 会 員	賛 助 会 員
会 員 数 (10月12日現在)	900 (注1)	15	153	103
差 引 増 減	-1	+1	+9	0

(注1) 正会員の内訳 名誉員14名・シニア員20名・ジュニア員178名

正会員

王 海 涛 (大連海事大学)

藤原 達也 (一般社団法人日本フルードパワー工業会)

学生会員

米田 知生 (立命館大学)

細山 貴弘 (立命館大学)

佐藤 健 (神奈川大学)

平川 鉄磨 (福岡工業大学)

山本 悟史 (東京工業大学)

守分 善法 (岡山理科大学)

加藤 将史 (早稲田大学)

猪越 紀克 (防衛大学校)

斉藤 孟 (上智大学)

会 告

学会誌に掲載された記事の著作権の帰属確認について

会員ならびに学会誌執筆者各位
一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会
情報システム委員会 委員長 藤田 壽憲
会誌編集委員会 委員長 吉田 和弘

日本フルードパワーシステム学会（以下「本会」という）では、会員サービス向上の一環として、学会誌および論文集のバックナンバーの一部（33巻～42巻、2002年1月号～2011年11月号）を電子化し、学会ホームページ内の会員ページで公開する準備を進めております。公開にあたっては著作権法により、掲載された記事や論文などの執筆者からその著作権の許諾または譲渡を必要とします。

論文の著作権については2009年度の「掲載論文の電子アーカイブに伴う著作権委譲に関する公示」で著作権が委譲され本会に帰属していることが明確になっております。学会誌についても投稿規程に著作権が本会に帰属することが定められております。対象となるバックナンバーについては、投稿規程制定後に刊行されたものであり、投稿時に著作権が委譲され本会に帰属することを執筆者に承諾していただいております。しかしながら、投稿時点ではメディア媒体は冊子体であり、電子データは一般的ではありませんでした。そこで電子データで公開する場合にも、著作権が学会に帰属することを再度、確認申し上げる次第です。万一、この件に関しましてご了解戴けない場合、あるいはご不審の点がある場合には、2012年12月15日までに、本会事務局へ文書またはE-mailにてお申し出ください。

本会は、このお知らせが著者の皆様方の目に触れることを前提としておりますが、公開後の執筆者の皆様からの記事取り下げ要求に際しても柔軟に対応させて戴きます。

以上、会員および執筆者各位のご理解とご協力をお願い申し上げます。

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番22号 機械振興会館 別館102
日本フルードパワーシステム学会事務局
E-mail info@jfps.jp

巻 頭 言

「フルードパワーにおける組み込みシステム」発行にあたって*

吉 満 俊 拓**

電気・電子機器の高度化・複雑化と、マイクロプロセッサやメモリの性能単価の下落が進んだ結果、より広範な分野で組み込みシステムが採用されるようになっている。家電、AV機器、OA機器、携帯電話、自動車、自動販売機など、身の回りにあるほとんどの機械には何らかの組み込みシステムが搭載されており、平成20年度より日本標準産業分類3912として規定されることによりその位置付けがますます重要になってきている。

組み込みシステム技術協会によると、組み込みソフトウェア産業全体で、年間の国内組み込みソフトウェア開発費は約4.2兆円、5年間（2004～2009年）の平均成長率は約15%と推計されており、近年、著しくその規模が拡大している¹⁾。

組み込みシステムとは、「機器や機械に組み込まれて、その制御を行うコンピュータシステム」であり、その特性として、専用化されたシステム・厳しいリソース制約・高い信頼性・リアルタイム性を有するものである²⁾。そして、パソコンなどの汎用システムとは異なりさまざまなハードウェアと多様なOSがあり、開発環境とターゲットシステムが分離しているのが一般的である。

現在のフルードパワーシステムの主たる分野である製造業分野は、省エネルギー化の要求が最上位に上がりシステムの高度化・複雑化が進んでいる。そして、システムが高効率・高精度で動作するために、フルードパワーシステムにおいても機器単体の高機能化が進み多くの流体機器に組み込み用マイコンが用いられている。

本特集号ではフルードパワーの分野に組み込みシステムを持ちいた話題・トピックを提供する。フルードパワーの新たな研究・開発の領域を拡大するきっかけとなれば幸いである。

組み込みシステムについて総論としてまず「組み込みシステムがフルードパワーにもたらすこと」と題し、組み込みシステムについて解説いただいた。つぎに研究機関での活用事例として「歩行リハビリ訓練用高機能靴」を紹介する。さらに、産業機器における実装例として、「ショックレス切換弁」、「電子制御ミキサ車」、「スマートポジショナ」、「デジタル電空レギュレータ」を紹介する。

最後に、ご多忙にもかかわらず本特集号の各記事をご執筆いただいた著者の皆様に心よりお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 社団法人組み込みシステム技術協会HP: 組み込み技術者の効果的な育成について,
http://www.jasa.or.jp/top/activity/activityguid/pdf/training-project/0_contents.pdf, p.2 (2010)
- 2) 高田: リアルタイムOSと組み込み技術の基礎, CQ出版, p.7 (2004)

[著 者 紹 介]

よし みつ とし ひろ
吉 満 俊 拓 君

2000年明治大学大学院博士後期課程修了。同年神奈川工科大学工学部助手。現在は准教授。空気圧制御システムの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、計測自動制御学会などの会員。博士(工学)

E-mail: yosimitu@rm.kanagawa-it.ac.jp

*平成24年8月29日 原稿受付

**神奈川工科大学ロボットメカトロニクス学科
(所在地 〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野1030)

組み込みシステムがフルードパワーにもたらすこと*

小 山 紀**

1. はじめに

組み込みシステムとは、マイクロコンピュータ（マイコン）を組み合わせた機器のことである。携帯、家電、自動車など身の回りから、人工衛星や探査機など宇宙分野まで、広くあらゆるところで活用されている。大量に生産されるマイコンは、ほとんどすべてが組み込み用途に消費される。

2. 組み込みにより実現されたこと

組み込みシステムは、無論メカトロニクス技術の延長上にある。メカトロニクスはメカだけでは対応できない機能を、電子技術により補填して来たともいえる。しかし、組み込みシステムは従来にない新たな機能を生み出している。マイコンの性能や制御プログラムの進化に伴い、システム間の通信や資源共有、動作中の最適化、学習、さらには人の好みや価値観などに対応させた機器動作、安全の確保などきわめて多様な機能が実現された。

組み込みシステムの先駆的分野ともいえる自動車では、多数の組み込みシステムが動作している。そしてこれらは車単位でのネットワークシステム（CAN：Controller Area Network あるいはCar Area Network）を構成し情報を共有している。必要ならば他のシステムが管理するセンサ情報を参照している。一方、燃料噴射を制御するマイコンはリアルタイム学習による噴射時間調整を実行しており、学習結果はメモリに記憶され次の運転開始時に初期値として利用される。また好みに関わる対応とし、加速感と燃費との折り合いについて、いずれを重視するか輸出先国民性に合わせてマイコンのプログラムをチューニングしているとも聞いた。

組み込みシステムはフルードパワーの分野でも目覚ましい活躍をしている。たとえば過去に提案されたものの実用化ができなかった機器が、組み込みシ

ステムの適用により日の目を見た例がある。自動車の油圧駆動無段変速機の変速比の範囲を広げる目的で、ギアによる段階変速機構と組み合わせるアイデアは以前からあった。しかし段階変速機構が切り替わった瞬間のショックを取り去る技術が開発できず長い間実用化されなかった。マイコン制御による組み込みシステムとすることで、正確なタイミングで油圧アクチュエータの動作制御を実行し、ショックの問題が解決できた¹⁾。また、このシステムは工作上避けられない油圧アクチュエータの動作遅れの個体差が吸収できるよう、学習により動作タイミングを自己調整している。前述のように自動車の組み込みシステム間では通信により情報をやり取りしているため、事前に油圧アクチュエータシステム単体で学習はできない。自動車が完成し、格納場所に自走する間に学習が完了するのだそうだ。

マイコンには、動作中の監視、学習、判断などの機能をプログラムすることができる。油圧の配管チューブに信号線を組み込み、信号線を伝わる信号波形の変化から配管の劣化を動作中にリアルタイムで診断することが可能である²⁾。配管端にパルス信号の発生部を置き、一方の端に受信部を置いてこの間を伝わるパルス信号の振幅や中央値の変化を監視し、異常すなわち配管の劣化を予測することができる。従来実施していた決められた時間ごとの、すなわち余寿命がある筈の配管交換の手間と経費が節減できる。

電気接点を持つ機械的リレーによる制御回路の流れをくむPLC（Programmable Logic Controller）は、フルードパワー機器の制御に多用される。PLCを使った制御回路は厳密には組み込みシステムと呼ばないかもしれない。しかし現在のPLCはマイコンが使われ組み込みシステムと同等な機能を持つため、新しいフルードパワー制御を実現している。空気圧シリンダは手動により調整するニードル弁で動作速度を設定するが、設定後にニードル位置が動いてしまい速度が変化することがある。これを解決するためPLCを用いリアルタイムで可動式ニードルの位置を調整するスピードコントローラが開発されている³⁾。

*平成24年8月25日 原稿受付

**明治大学理工学部機械情報工学科

(所在地 〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1)

3. 組み込みシステムの開発例

組み込みシステムは自律動作をする機器には不可欠である。著者の研究室での組み込みシステムを利用した開発の様子を紹介する。

図1は組み込みシステム開発を実習させる学生実験のための空気圧シリンダ制御回路である。左側の台の奥に、2本の空気圧シリンダが取り付けられており、実習する学生には台上手前の制御用マイコンで実行する運転プログラムを作成させる。一般的な組み込みシステムにおいては、プログラムは制御用マイコン自体を使って作成することはない。パソコンなど他の環境で作成、動作確認（シミュレーション）した後に制御用マイコンのROMに書き込み実行する。この実習装置でも右のノートパソコンでC言語によりプログラムを作成し、コンパイル（ノートパソコンと制御用マイコンのCPU種類は異なるのでクロスコンパイル）したのち、ダウンロードケーブルでマイコンに書き込む。書き込みを含めたすべての操作は、パソコン上の開発環境画面からできる。

マイコンはそれ自体、あるいはマイコンメーカーが提供する回路モジュールの追加によりインターネット

トを通じてデータのやり取りができる。通信ハンドラなどのアプリケーションも提供されている。フルードパワー機器を組み込みシステム化すると、遠隔から一般のインターネットにより操作できることになる。図2は電磁弁の高速切り替えによる流量サーボ装置⁴⁾の内部を示している。圧力のリップルを削減および現在の供給流量を計測する機能を持たせた圧力容器や電磁弁のそばに、マイコンが文字通り「組み込まれて」いるのがわかる。マイコンに目標流量を指示すれば、その流量が供給されから、インターネットにこの機器を接続しておけば遠隔な流量操作が可能である。職場のパソコンから家庭のガス火力がインターネットを通じて調整できる。もっともこの様な操作が必要な用途は今のところ思い付かないが。

図3は著者の研究室で開発している空気圧歩行支援装具の概念図である⁵⁾。背中のザックに組み込みマイコンを含むすべての制御機器や動力源を入れ、ザックから供給されるガスにより駆動する空気圧シリンダで歩行の補助動作を行う。

図4にその構成を示す。靴底や脚装具に設けたセンサからの信号をマイコンが監視し、歩行者の歩行状態に合わせて適当なタイミングで空気圧シリンダを動作させ歩行を支援する。マイコンにはセンサ波形から抽出すべき情報や、姿勢に応じた支援タイミングなどがプログラムされている。

図5にザックから取り出したマイコンおよびインターフェイス回路部の写真を示す。これらの電子回路部は電池も含めてきわめて軽量である。



図1 組み込みシステムの実習装置

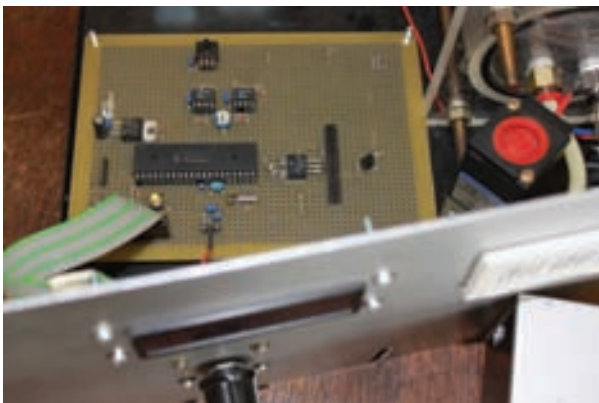


図2 空気圧流量サーボ装置の内部



図3 空気圧歩行支援装具

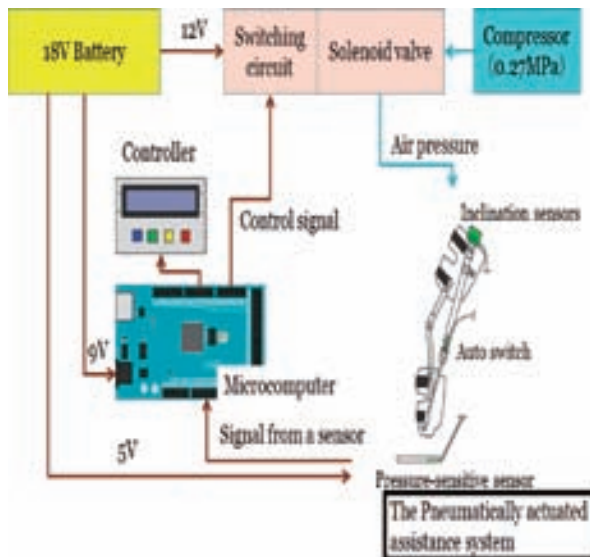


図4 空気圧歩行支援装具の構成



図5 マイコン部

4. 終わりに

フルードパワーが組み込みシステム化することで新たに実現できる機能はまだまだあると思う。その意味でも本号の特集は有意義である。

組み込みシステムのもうひとつの大事な特徴は、マイコンのプログラムを外部からは読めなくすれば関わるノウハウをブラックボックス化できる点にある。製品の独自性を保てると同時に、グローバル化時代で問題が懸念される不当なコピーを防ぐことに

も貢献する。農作物にさえも不当な流通を防止し、安全性を確保するためICチップの添付が検討されている。個々のフルードパワー製品にも、さまざまな目的でマイコンが棲み付く日が来るのでは、と思う。

参考文献

- 1) 中野晴久：自動車における電子回路組み込み技術，日本フルードパワーシステム学会第7回若手育成フルードパワー道場資料，(2012)
- 2) 黒川道夫：寿命予測機能付き油圧ホースシステムの紹介，フルードパワー，Vol. 26, No. 3, p. 51-54 (2012)
- 3) 齊藤悠：空気圧シリンダ作動時間のデジタル制御，フルードパワー，Vol. 26, No. 3, p. 38-42 (2012)
- 4) 植田哲哉，小山紀，吉満俊拓，香川利春：電磁弁と等温化压力容器を用いた流量サーボに関する研究，IFPEX2008カレッジ研究発表コーナー講演論文集，p. 55-56 (2008)
- 5) T. ARIMA, O. OYAMA and T. YOSHIMITSU : DEVELOPMENT WALKING ASSIST SYSTEM WITH PNEUMATIC ACTUATOR, Proc. of the JFPS International Symposium on Fluid Power, p. 541-542 (2008)

[著者紹介]

小山 紀君



1978年明治大学大学院理工学研究科博士後期課程単位取得後中退。同大学助手，専任講師，助教授を経て，2000年同大学理工学部教授，現在に至る。空気圧制御の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，計測自動制御学会などの会員。博士（工学）。

E-mail : oyama@isc.meiji.ac.jp

解 説

歩 行 リ ハ ビ リ 訓 練 用 高 機 能 靴*

早 川 恭 弘**

1. はじめに

高齢者の転倒死亡事故は平成12年から19年へかけて17%も増加しており、迫り来る超高齢化社会の主要な問題となっている¹⁾。この転倒の要因として、在宅高齢者では段差などの環境要因がもっとも多く、次いで多いのが病気によるバランス・歩行障害である。具体的には高齢者の20～50%に歩行障害があり、筋力低下は在宅高齢者の50%にみられる。また、バランスと歩行を維持するには、出力となる下肢筋力や関節可動域が十分である必要がある。しかし、加齢による下肢筋力の低下により、高齢者の歩行は歩幅が狭く歩高が低くなる。さらに前傾・前屈姿勢になるためバランスを保つことが難しくなる。

こうした事故を防止するため、安定歩行に関する研究がなされている²⁾。しかし、これらの器具はどれも大型であり、装着時に使用者への圧迫も大きい。ため、普段の生活の中で手軽に使用することは難しいものが多い。そこで、我々の研究室では、日常的に使用する靴に空気を利用したバランス補正提示機能を付加するために、組込み技術を応用した歩行訓練用靴の開発を行っている。

本解説では、高機能靴開発の第一段階として、歩行時の足部圧力バランスおよび身体の状態を測定する組み込み測定回路について述べる。

2. 歩行データ測定装置

研究の第一段階として、歩行の補正方法を考える際に、正常な歩行を行える人と、正常な歩行が困難となってしまった人の歩行時における身体の振れ、及び足裏の荷重分布の傾向を掴み、その差異を知る必要がある。そのためには、身体の傾きと、足裏と中敷に加わる荷重を正確に検出する測定装置が必要となる。

そこで、歩行データ測定装置として、両足分のSCSRA要素³⁾を用いた高機能中敷と、中敷部の各種

センサから得られるデータの処理を行う制御装置の製作を行う。また、測定装置は両手の使用を制限せず、なおかつ自然に近い状態での歩行を実現するために、制御回路の小型化および、配線の一本化を行う。図1に製作した測定装置、図2に制御構成図を示す。



図1 測定装置

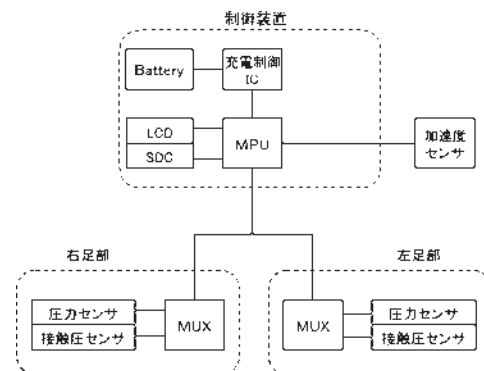


図2 測定装置の制御構成

本制御装置は1つのMPUでデータ処理を行う。MPUには、AVRを使用し、LCDの表示、圧力センサ、接触圧センサ、加速度センサの各データのA/D変換、および、変換後のデータのSDカードへの書き込みすべてを行っている。

しかし、AVRのA/D変換可能ポート数には限りがあり、多くの要素のA/D変換はAVR単体では行えない。そこで、マルチプレクサ（以下MUX）と呼ばれるものを使用することで、各センサすべてのデータの処理と、データ処理の簡略化を可能にしている。また、マルチプレクサは、制御装置外の別の回路に設けており、左右の高機能靴にそれぞれ搭載

*平成24年7月2日 原稿受付

**奈良工業高等専門学校

(所在地 〒630-1080 大和郡山市矢田町22)

している。

さらに、SDカードへの書き込みは、FATシステムを使用することでExcelデータとして保存され、Windows PC上でのデータ確認が可能となっている。

回路への電力供給は、小型のバッテリーで行う。また、バッテリーの充電制御には、バッテリーチャージャー IC を使用しており、USB による充電が可能となっている。

2.1 制御装置

図 3 に製作した制御装置を示す。制御装置は、図に示すように、縦65mm×横95mm×高さ20mm (LCD部28mm) と非常にコンパクトなデバイスとなっている。制御装置の操作にはLCDの下部にある操作スイッチを使用する。操作スイッチには5方向入力スイッチを使用しており、1つのスイッチで、上下左右およびセンターの5つの入力を行うことができる。

制御装置の左側面部に、中敷部の各種センサの信号線をまとめたコネクタ (以下中敷部センサ用コネクタ) 接続用ポートと、加速度センサからの信号線をまとめたコネクタ (以下加速度センサ用コネクタ) 接続用ポートを設けている。

制御装置の上部には、microSD スロットがあり、こちらにデータ保存用のmicroSDCを挿入する。制御装置の下部には、バッテリー充電用のUSB スロットを設けている。こちらのスロットにUSB ケーブルを接続し、もう片方をPCに接続することでバッテリーの充電を行うことができる。

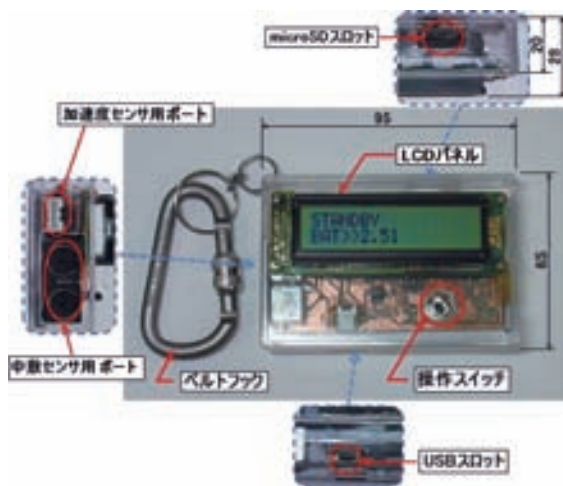


図 3 制御装置詳細図

以下に、制御装置に使用した電子部品要素の説明を行う。

1) MPU

MPU として ATMEL 社の ATmega64 を採用している。この MPU は 8ch, 10bit の A/D 変換器や、SPI, TWI, USART のインターフェースなどの周辺機器

が豊富である。さらに、FLASH ROM 領域が多く、少々大きいプログラムでも書き込みも可能となっている。また、SD カードのデータ書き込みは基本的にブロック (512byte) 単位となり、多くの RAM 領域を必要とするが、本 MPU ではそれが十分確保されている。

2) バッテリーチャージャー IC

バッテリー充電制御用 IC は、図 4 に示す TEXAS INSTRUMENTS 社の BQ24032A を採用している。このデバイスの特徴は DPPM と呼ばれるパワーマネジメント機能を内蔵していることである。USB 接続時には、バスパワーによるシステムへの給電とバッテリーの充電が同時に行われる。そして、USB が非接続になると自動的にシステムへの給電経路が切り替わり、バスパワーの代わりにバッテリーが使用されるようになる。また、バスパワーには上限があるが、それも上限値を越えないように IC が自動的に調節を行う。



図 4 バッテリー充電制御用 IC の外観

2.2 高機能靴

製作した高機能靴を図 5 示す。高機能靴の製作には、靴底の加工のしやすさを考え、足の甲で固定を行うタイプのサンダルを使用している。このサンダルに、高機能中敷を搭載できるようにサンダルの靴底を掘り下げ、さらに、SCSRA の圧力測定用チューブが通るように加工を行っている。

製作した高機能中敷は、図のように SCSRA を配置し、その上に接触圧センサを爪先部に 2 つ、土踏まず付近に 2 つ、そして、踵部に 1 つの計 5 ヶ所配置しており、この 5 点の接触圧から足裏の荷重分布を検出する。また、SCSRA には内圧測定用のチューブが取り付けられており、チューブの先を信号線集積回路上の圧力計に接続している。

この信号線集積回路とは、中敷部の各種センサの信号線をまとめている回路である。本回路には、SCSRA の内圧測定用センサおよび、接触圧センサ用コネクタ接続ポートがある。また、回路は二層基板で作製しており、裏面に MUX が配置されている。MUX は、MPU からの信号により、センサを選択し、そして、選択されたセンサの値を MPU に返す役割を果たしている。



図5 高機能靴詳細図

1) 接触圧センサ

このセンサは、おのこのフィルム層の上に導電材料（銀）の層があり、その上に感圧インク層がある。この2つのフィルム層はお互いに接着剤でラミネートされて、センサを形成している。有効センシングエリアは、感圧インクが塗られた円形の銀層と定義されており、図5の丸で囲まれた部分がそれにあたる。銀層は、導電配線としてこのセンシングエリアと他端の接続部をつないでおり、センサは電気回路内で抵抗器として作動する。センサが無負荷の状態では抵抗は非常に高くなる。センサに力を加えると抵抗値は減少し、電圧を印加することで、センサ抵抗の変化を電圧変化に変換することができる。

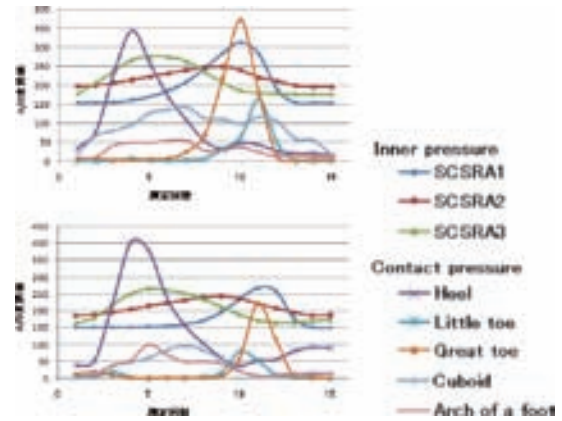
2) MUX

MUXには、ANALOG DEVICE社のADG608のアナログマルチプレクサを採用している。本デバイスは8つシグナル・チャンネルで構成されるモノリシックCMOSアナログマルチプレクサであり、共通の1つの出力に対して8つの入力があり、そのうちの1つに切り替えることができる。また、どの入力に切り替えるのかは、3ビット・バイナリのアドレスラインによって決定することができる。

3. 歩行実験

本測定装置の有用性を確かめるために、歩行実験を行い歩行データの測定を行う。歩行実験には、ウォーキング・マシンを使用し、歩行速度を2.5 km/hで一定として、体型の異なる4名の歩行データの測定を行っている。測定結果を図6に示す。ここで、縦軸に各種センサの電圧変化値を10bit変換した値を示し、横軸にサンプリングタイムを0.1sとした測定回数を示している。

これらの測定結果より、最大圧力値や歩調に多少の違いは見られるが、踵から爪先に至る重心移動の様子が現れていることが、接触圧センサおよび



左足（上）、右足（下）

図6 被験者の測定結果

SCSRAの内圧値の変化からわかる。

4. おわりに

本解説では、歩行状況を測定できる高機能靴の計測回路および測定結果に関して説明した。組み込み技術を活用することにより、計測システムの小型化が容易に実現できることがわかりいただけたと思う。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究（C）（No. 24500669）により行われている。

参 考 文 献

- 1) 内閣府 高齢社会対策ホームページ <http://www8.cao.go.jp/kourei/>
- 2) 田中, 小俣, 池原, 永村, 池条: “下肢全体を支援する歩行補助機装着時の筋活動”, ロボティクス・メカトロニクス講演会2006講演論文集, No.06-4, 2P2-A07, 2006
- 3) 早川恭弘: 福祉介護用高機能靴の開発, フルードパワーシステム, Vol. 42, No. 5, p. 289-291, 2011

[著 者 紹 介]

はや かわ やす ひろ
早 川 恭 弘 君



2006年奈良工業高等専門学校電子制御工学科教授、現在に至る。空気圧を用いた福祉介護機器開発の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、IEEEなどの会員。博士（工学）。

E-mail : hayakawa@ctrl.nara-k.ac.jp

解 説

シ ョ ッ ク レ ス 切 換 弁*

北 村 修**

1. はじめに

近年、玩具から家電製品、自動車にもマイコンが搭載され、組み込みシステムによって制御を行っている。また、産業用機器においても、マイクロプロセッサによるデジタル制御が広く普及している。

油圧機器においても、サーボシステムやポンプの回転数制御システム、フィールドバス対応機器などに、組み込みシステムが用いられている。しかし、エレメントと呼ばれるポンプやバルブ単体にマイコンを搭載している製品は、まだ少ない。

本稿では、油圧電磁弁にマイコン制御を導入した製品を紹介し、その概要を解説する。

2. 油圧制御弁

2.1 電磁切換弁

電磁切換弁は、アクチュエータの始動、停止、運動方向の切り換えを行うために、油圧システムで多用される。その動作はソレノイドへの通電・遮断によるON/OFF切換である。用途によって切換ショックを低減したものや、より高速に切り換わるものもあるが、過渡的な動作はバルブと油圧システムの特徴で決まり、調整はできない。

2.2 比例電磁式制御弁

比例電磁式制御弁は、電気信号により、油圧システムにおける圧力や流量を連続的に、あるいは多段階に制御するバルブである。比例電磁式方向・流量制御弁を用いると、アクチュエータの始動、停止、運動方向の切り換えだけでなく、速度、加速度も制御することができる。

バルブの動作を比例ソレノイドに流す電流によって制御するため、バルブには駆動用のコントローラが必要になる。コントローラへの指令信号は、アナログ電圧またはON/OFFの接点信号が一般的である。コントローラにはあらかじめ各種のパラメータを設定する。パラメータには、動作制御のための弁

開度・切換速度といった設定値と、バルブの特性を調整するための調整値（たとえばゲインなど）がある。また、バルブもコントローラもある程度のバラツキ：機差を持っているため、同じ設定値でも組み合わせによって動作に差異を生じる。そのため、システムの立ち上げ時には初期調整が必要になる。

3. ショックレス切換弁

3.1 開発の背景

物を動かす、特に重量物を移動させるときに要求されるのは、「安全に短時間で」ということであろう。そのためには、始動、停止時のショックを少なくすることが必要である。従来から電磁切換弁では、スプール形状によって切換時の開度ゲインを下げたり、スプールエンドにクッション機構を設けて、スプールの動きを遅くする手法などが用いられてきた。通常ショックレス切換弁とは、このような機械的機構を持つ電磁切換弁のことを指す。多くのアプリケーションにおいて電磁切換弁が使用され、より高度なモーションコントロールが必要な場合に、比例電磁式方向・流量制御弁が適用される。しかし、その中間的な機能を手軽に使いたい場面も多々あり、高機能で使いやすいショックレス切換弁を開発することになった。

3.2 機能仕様

市場調査と仕様検討の結果、以下のような機能仕様とした。

- ・弁開度・切換速度の制御を行う
- ・指令信号はON/OFFの接点信号またはアナログ電圧信号を用いる
- ・電磁切換弁と同様の形状とし、コントローラはコンジットボックスに組み込む
- ・ユーザによるバルブの特性調整、機差調整は不要とする
- ・パラメータの設定が容易にできる

このような仕様を実現するため、マイコンによる組み込み制御コントローラをバルブに搭載した。マイコンを使用したデジタル制御には、アナログ制御では実現できない多くのメリットがある。

- ・数値入力による動作設定とデータ管理

*平成24年7月12日 原稿受付

**東京計器株式会社 油空圧事業 技術部
(所在地 〒327-0816 栃木県佐野市栄町1-1)

- ・シリアル通信によるパソコンやPLC、周辺機器との情報伝達
- ・ソフトウェアのバージョンアップによる機能の追加・変更

機能的にはマイコンを搭載した比例電磁式方向・流量制御弁ともいえるが、手軽に使えることを重視し、「流量調整ができるショックレス弁」・「進化した電磁弁」をコンセプトとした。図1にバルブの内部構造、図2にコントローラの操作部を示す。

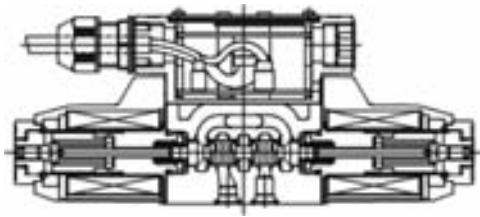


図1 マイコン搭載ショックレス切換弁

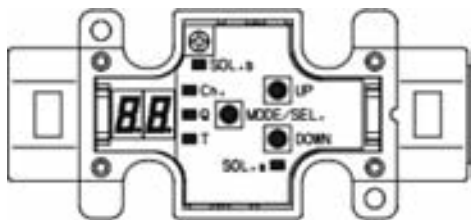


図2 コントローラ操作部

3.3 設定と動作

制御仕様として、アナログ入力タイプ、3チャンネル設定タイプ、ショックレスタイプを開発した。アナログ入力タイプは $\pm 10V$ のアナログ電圧を方向と流量の指令信号とし、電圧の変化が急峻であってもあらかじめ設定した切換速度で動作する仕様である。3チャンネル設定タイプは、A/B各方向3種類の流量と切換速度をあらかじめ設定し、接点信号で選択する。もっとも電磁切換弁に近い手軽さで使えるのがショックレスタイプである。その設定・動作例を図3に示す。基本的には各方向1点の接点信号でショックレス切換動作を行い、さらに停止信号を併用すると簡易位置決め動作も可能である。

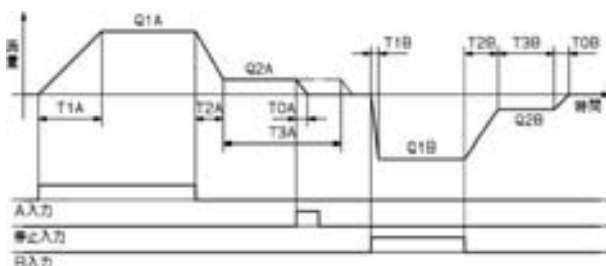


図3 設定・動作例

4. 通信機能

4.1 ハンドヘルド設定器

マイコンのシリアル通信機能を利用して、データの設定・保存、動作モニタを行うハンドヘルド設定器も開発した。

工業環境での使用を考慮し、通信インターフェース仕様は、RS-422に準拠した。電源はバルブコントローラの通信ポートから給電を受ける。また、ハンドヘルド設定器にも記憶素子（EEPROM）を設けることにより、データの保存と他のバルブへのコピーもできるようにした。また、バルブコントローラに比べて操作スイッチや表示素子の制約が少なく、仕様の自由度が大きい。基本的には同一の操作・表示にした。バルブ本体での操作を知っていれば、違和感無くすぐに見える設定器、というコンセプトの仕様である。図4に設定器の外観とデータの流れを示す。

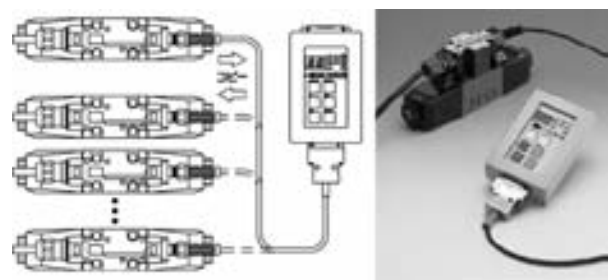


図4 ハンドヘルド設定器

4.2 検査装置

バルブおよびコントローラ単体の検査工程においても、マイコンの通信機能を利用している。本コントローラは、シリアル通信によって内部機能の自己診断を行ったり、データ設定やバルブの駆動制御を行う機能も持っている。したがって、アナログ入力／接点入力といった制御仕様に依らず、同一のイ



図5 バルブ検査装置

ンターフェースで検査ができる。

図5はバルブの出荷検査のイメージ図である。検査用パソコンからの通信コマンドにより初期設定を行い、バルブを所定の開度、切換速度で制御する。

検査スタンドで得られた圧力、流量などの計測データを収集、演算して適切な調整値をバルブコントローラに送信する。コントローラは受信した調整値を内部の記憶素子に保存する。

コントローラ単体の検査においても通信機能を利用することにより、多くの検査項目を自動化または半自動化することができた。コントローラの検査イメージも図5と同様で、計測データは電流値やディザ周波数である。加えてコントローラの自己診断情報もパソコンに送信している。

5. 機差補正

比例電磁式制御弁に用いるコントローラの基本機能は、指令値に比例した圧力や流量になるようにソレノイドコイルに流す電流を制御することである。流量は、電流にほぼ比例するが、実際にはごくわずかな電流ではスプールが動かない。また、中立点付近には機械的なオーバーラップがあり、ある程度の指令値までは流量が増えない（油が流れない）不感帯がある。ソレノイド電流が定格のほぼ最大値になった時に最大制御流量になるが、実際には機械部品の加工公差や電子部品の特性誤差による影響を見込み、若干の余裕を持って設計されている。したがって、無調整状態で指令値を100%にすると定格より若干多い流量となる。

これらの特性には、バルブ本体およびコントローラの個体差によってある程度のばらつき：機差がある。本ショックレス弁では、4.2節で紹介した検査装置により、指令値を0～100%まで変化させながら流量を測定し、収集した計測データから指令対流量特性を補正する調整値を決めている。コントローラは調整値に基づいて、指令値に特性補正を加味した電流値を演算して制御する。その結果、同じ指令値に対してはほぼ同じ流量が得られ、機差を補正することができる。したがって、システムの立ち上げ

時・バルブの交換時などにおいて、ユーザによる初期調整が不要になった。

図6は指令値に対する流量の特性を補正する例である。特性の補正は区分線形近似によって行っている。中立点付近の不感帯と最大制御流量の調整だけでなく、特性カーブを補正することもできる。正比例に近い特性や2段ゲインの特性に補正することも可能であるが、通常はバルブ本来の特性カーブで調整している。

6. おわりに

本バルブのシリーズは、初期型をリリースしてから約17年経過している。当初は取付面寸法：ISO 4401-03のサイズからスタートし、05、07、08サイズを追加した。スプール形式や作動油仕様などのバリエーションも増えた。コントローラ部においても、マイコンの機種変更、その他電子部品の変更、回路の改善、ソフトウェアのバージョンアップなどを行ってきたが、基本仕様や操作方法は変えていない。今後も、機能の追加や仕様変更を頻繁に行うのではなく、同じ使い勝手で安心して使えるロングセラー製品になると考えている。

一方、通信インターフェースについては、開発当時に主流であった9600bps程度のRS-232CやRS-422が使われなくなってきた。パソコンではUSBが標準装備、工場の制御機器ではフィールドバスが普及してきており、本製品のリニューアルや新製品の開発時には、対応を検討していく必要がある。

方向・流量・切換速度を手軽に制御でき、機差の少ないバルブを実現できたのは、組み込み制御に依るところが大きい。今後、油圧機器の制御部にも、ますます、組み込みシステムが使われて行くであろう。

[著者紹介]

きたむら おさむ
北村 修君



1987年 群馬大学工学部卒業。
東京計器(株)油空圧事業 技術部 システム技術課に勤務。
油圧機器のコントローラの開発・設計に従事。

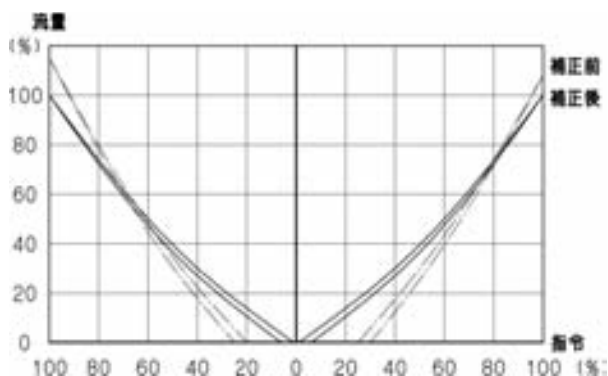


図6 指令対流量特性の補正

解 説

電 子 制 御 ミ キ サ 車*

川 島 茂**

1. はじめに

電子制御ミキサ車とは、コンクリートミキサ車の油圧駆動制御をマイクロプロセッサ内蔵した専用のECU（Electronic Control Unit）により、電子化したものである。それにより、ポンプの流量制御、モータの2速切換え、アクセル制御を可能にし、エンジン回転数を従来のミキサ車の約半分に抑え、低騒音・低燃費を実現している。また、従来はレバー操作により、ドラムの回転制御を行っていたが、電子化に伴いコンパクトなハンディタイプのリヤコントローラを採用した。それにより操作範囲が広がり、生コンの排出口付近でも操作可能となった。自動洗浄・自動混練のプログラム運転、走行時の自動攪拌、逆転防止といったユーザのニーズに合わせた機能も装備している。

2. ミキサ車の作業パターン

ミキサ車は、生コンクリート（以下生コン）を製造するパッチャプラントで練り上げた生コンをドラム内に投入し、低速回転させながら排出現場まで運搬する。現場到着後、停車して排出の順番がくるまで低速回転で待機し、排出前に生コンの分離を防ぐため、生コンを高速で混練した後、排出する。

排出完了後は、生コンが付着している排出口付近を洗浄し、パッチャプラントまで帰り、ドラム内を洗浄し排出するという一連のパターンがほぼ決まっている。

この他には、生コンにファイバなどの補強材を入れミキサ車で混練する作業や、まれに道路の側溝工事などで低速走行しながら排出する作業もある。

ミキサ車は排出現場までの往復を除きほとんど停車で作業している。停車作業中にドラム回転数を上げて使うこともあり、その騒音が問題になることもある。



図1 電子制御ミキサ車

3. システム

電子制御ミキサ車のシステムブロック図を図2に示す。

本システムは、従来型のミキサ車にあった操作レバーに代わり、キャブ内コントローラまたは、リヤコントローラの操作に応じて、ECUによりエンジンPTO（Power Take Off: エンジンからの動力を取り出し装置）に接続された電子制御油圧ポンプおよび2速油圧モータを制御し、減速機を介してドラムを回転させる。ドラム回転により発生する負荷圧力を圧力センサで常時監視し、エンジンPTOのトルクに余裕があると判断した場合に、2速油圧モータを小容量に切換えると同時に、エンジン回転数を低減させて、電子制御油圧ポンプの吐出流量を抑えることにより、低騒音・低燃費を実現している。

電子制御油圧ポンプと2速油圧モータの回転数は、それぞれ回転センサにより検出され、フィードバック制御されている。

また、パーキングブレーキ信号を検出し、走行状態を把握することで、停車時／走行時のドラム回転制御切換えや、誤作動防止等の安全制御を行っている。

*平成24年8月6日 原稿受付

**KYB株式会社特装車両事業部熊谷工場
(所在地 〒369-1193 埼玉県深谷市長在家2050)

5. 油圧機器の仕様

5.1 電子制御油圧ポンプ

電子制御油圧ポンプは、比例電磁減圧弁により流量制御している。また、負荷圧力を検出する圧力センサを内蔵している。表1に仕様を示す。

表1 電子制御油圧ポンプの仕様

押しのけ容積	90.3cm ³ /rev
流量制御	LS弁＋比例電磁減圧弁
圧力センサ	動作圧力範囲 0～35Mpa
質量	57kg

5.2 2速油圧モータ

2速油圧モータは、電磁切換弁により押しのけ容積を切換えている。また、モータの回転数を検出する回転センサを内蔵している。表2に仕様を示す。

表2 2速油圧モータの仕様

押しのけ容積	1速：87.3cm ³ /rev 2速：45.4cm ³ /rev
2速切換弁	電磁切換弁
回転センサ	非接触型PUSH-PULL方式
質量	39kg

6. ECUの仕様

電子制御ミキサ車の仕様に合わせた構成の専用ECU（図4）を、自社で開発をした。

また、メンテナンス性、拡張性を高めるため、シリアル通信ポート、7セグメントLED表示器も実装している。表3に仕様を示す。

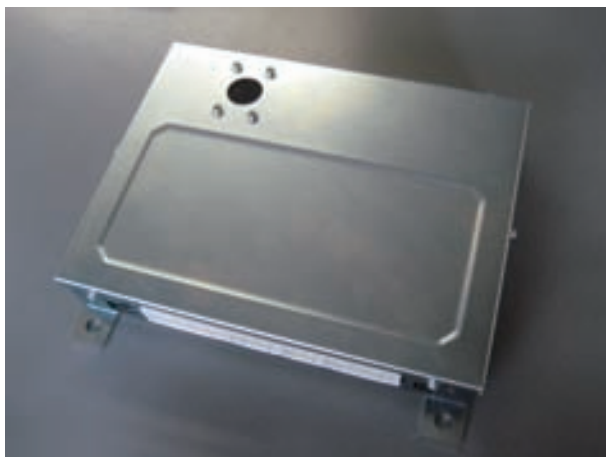


図4 電子制御ミキサ専用ECU

表3 ECUの仕様

電源電圧	DC24V (20～32V)
動作温度範囲	－30～80℃
動作湿度	95% RH以下
サイズ	W210.5×D160.5×H40mm
質量	1.1kg
マイコン	H8SX/1543
入力チャンネル	アナログ×7, デジタル×12 パルス×5
出力チャンネル	ソレノイド [※] PWM出力×3 アナログ×3, デジタル×5
通信	シリアル×1 (メンテナンス用), シリアル×1 (拡張用)
異常通知	LED (7セグメント) (外部ブザー接続可能)

6. おわりに

油圧制御をECUによって制御することにより、従来では不可能であった高機能化が実現できるようになった。今後ともユーザの意見を伺い、電子制御の特徴を生かし、さらに使いやすいミキサ車へ発展させてく所存である。

[著者紹介]

かわしま しげる
川島 茂 君



1994年東海大学工学部精密機械工学科卒。
同年4月カヤバ工業株式会社（現 KYB）
に入社、特殊車輛、システム機器の開発設
計に従事、現在に至る。

E-mail：kawashima-shi@kyb.co.jp

解 説

ス マ ー ト ポ ジ シ ョ ナ*

渡 邊 崇**

1. はじめに

ポジショナとは、コントローラからの操作信号を受け、その操作信号に応じた目標位置に空気圧式の駆動部の位置を制御する計装補器である。

ポジショナは操作信号が空気と電気の2種類のタイプがある。操作信号の主流は空気圧から電気へ変わり、また低コスト化のためコンパクト・省エア化など改良が重ねられてきたが、ポジショナ自体の基本構造原理に大きな変化はなかった。

しかし、プラントの効率化に伴う高精度化による厳しい条件下での操作要求や熟練を要するゼロ・スパン調整の簡素化を実現するため、制御部にマイコンを搭載した電子制御式のポジショナであるスマートポジショナが登場した（図1）。

本稿においては、ポジショナ用途などの説明および、従来からの機械式ポジショナと電子制御式のスマートポジショナとの比較を説明するものとする。

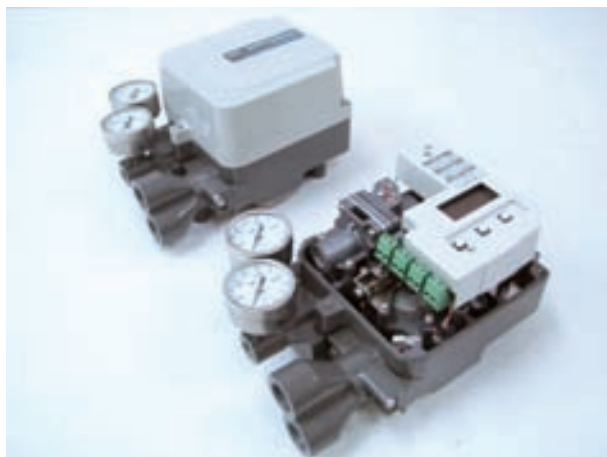


図1 スマートポジショナ

2. ポジショナの用途

製造工業を大別すると、機械・自動車・電機などの加工工業と石油・化学・電力・ガスなどのプロセ

ス工業とに大別され、加工工業は人為的あるいはロボットによる組立工程作業が主であるが、プロセス工業は原料やエネルギーの供給量（流量・質量など）と、装置の環境条件（温度・圧力など）を制御することにより、目的とする製品が自動的に得られるものである。

ポジショナの用途は主にプロセス工業であり図2は重油炉の温度制御を例に、プロセス制御の一般的な構成を示したものである。このフィードバック制御回路の中で、ポジショナは調節部からの操作信号に応じて、ダイヤフラム弁の位置制御を行う役割を担っている。

3. ポジショナを使用する目的

コントロールバルブは、単動型と複動型に大別され、ダイヤフラム弁などのスプリングリターン式の単動型であれば、減圧弁などによる操作圧力の増減でラフな位置制御は可能であるが、複動型アクチュエータの中間停止制御を行うにはポジショナなどの制御機器が必要である。ここでは、ポジショナが必要とされる制御条件や使用条件について説明する。

(1) 駆動部の正確な制御

コントロールバルブの種類にもよるがコントロールバルブ単体は圧力制御では数% F.S.の線arity（直線性）・ヒステリシス（往復路の差）を生じる。位置制御のポジショナでは、常に現状の位置をフィードバックし修正動作するため、1% F.S.以内での位置制御が可能である。

(2) 駆動部の剛性強化

ポジショナは目標値と弁開度のずれを常に修正動作する。したがって、弁への外乱が大きい使用条件（弁内の圧力降下やその変化が大きい場合、粘性の高い流体を流す場合など）においても、その修正動作により安定した位置制御が可能である。

(3) 入力信号と弁開度の関係の変更

バタフライバルブのように独自の流量特性をもったアクチュエータは弁位置と流量の関係が比例関係にならない場合が多い。コントロール性を向上させるため操作信号と流量を比例関係にする場合があり、その際は電子制御型ポジショナやカムを内蔵した機

*平成24年8月3日 原稿受付

**SMC株式会社

（所在地 〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台4-2-2）

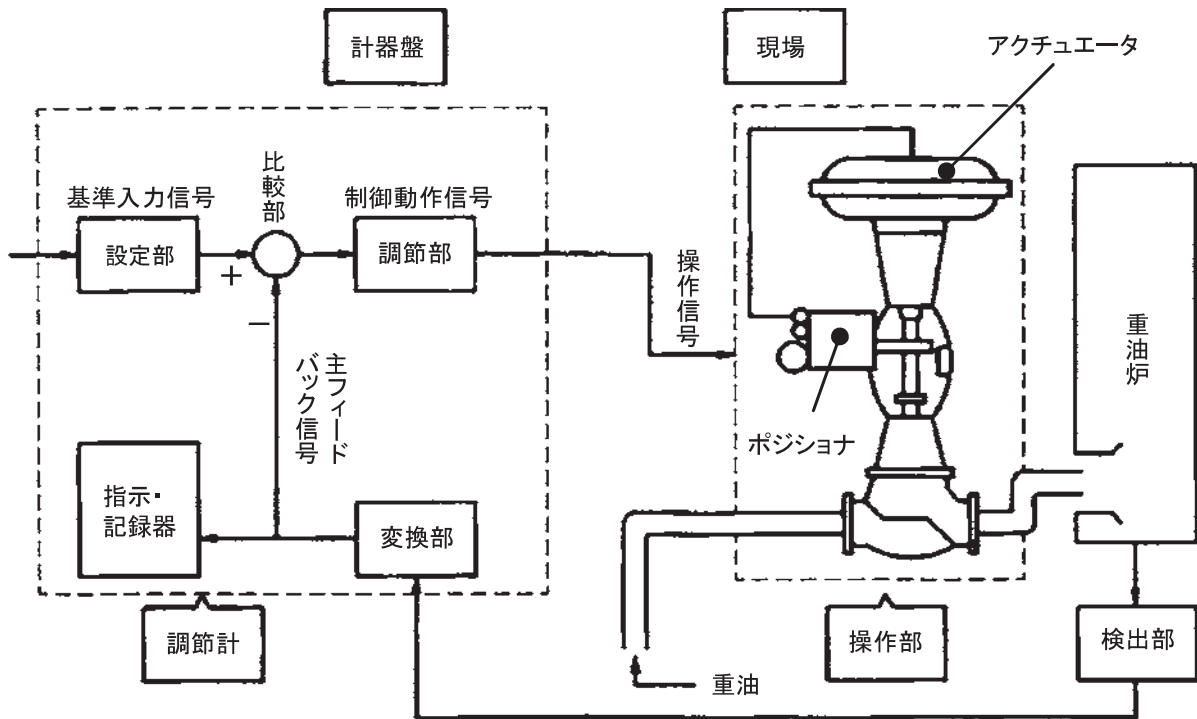


図2 プロセス制御の一般的な構造

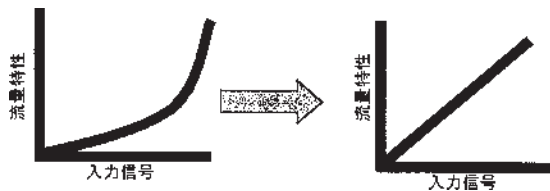


図3 入力信号と流量特性

機械式ポジショナを使用することで、希望の出力特性を持たせることができる（図3）。

4. スマートポジショナについて

従来の機械式ポジショナは機械要素のみで構成されており、フィードバック量は伝達部の動作によるスプリングの張力変化で検出を行っている。

それに対し、スマートポジショナは弁開度を内蔵の位置センサにより検出し、位置制御を行っている。

ポジショナはさまざまなサイズやタイプのアクチュエータに使用されるため、機械式ポジショナはゼロ点とスパン調整を行う調整機構が設けられている。ただし、その調整はおおのこの調整が干渉し合うため、熟練度が必要である。

また、操作信号に応じたアクチュエータの制御は行うものの、現場で確認しない限りアクチュエータの制御状態は得られなかった。そのため、アクチュエータの実開度を把握する必要がある場所では、開度発信器やリミットスイッチを補助機器として組み合わせ、情報を得る必要があった。

そのほか流量特性の変更や安全性を考慮した強制

全閉・全開を行うためには、カムの形状変更や補助部品の追加などで対応する必要があった。

これらの諸問題を解決する手段として登場したのがスマートポジショナである。スマートポジショナでは電子制御化により、これまで多く使われていた機械制御部品が減少し、変わりとしてマイコンがその役目を果たす構造となっている。その結果、ゼロ・スパン調整はオートチューニング化が可能となり、調整時間の短縮によるコストの削減や作業による調整のバラつきがなく品質の安定化に繋がる。

また、流量特性の変更や強制全閉・全開制御などの各種パラメータ設定も、プログラム上に組み込むことで対応が可能となり、メンテナンス性、安全性、作業性の向上に貢献する。加えて、位置検出はフィードバックシャフトを介し電氣的に行っているため、弁開度の検出も補助機器を必要とせず行えるようになったのである。

また、LCDなどによる表示機能を搭載することで、現場でポジショナの設定の確認・変更や目標値との偏差など現在の制御状態を確認できるようになった。

さらに通信機能をもたせることにより、ポジショナの制御状態の監視やパラメータの変更が離れた場所で行えるようになったことも大きな特徴である。

これらの利点から機械式ポジショナに比べメンテナンス性・安全性の向上および作業時間の短縮、補助部品の削減によるコスト低減に貢献できるものとなっている。

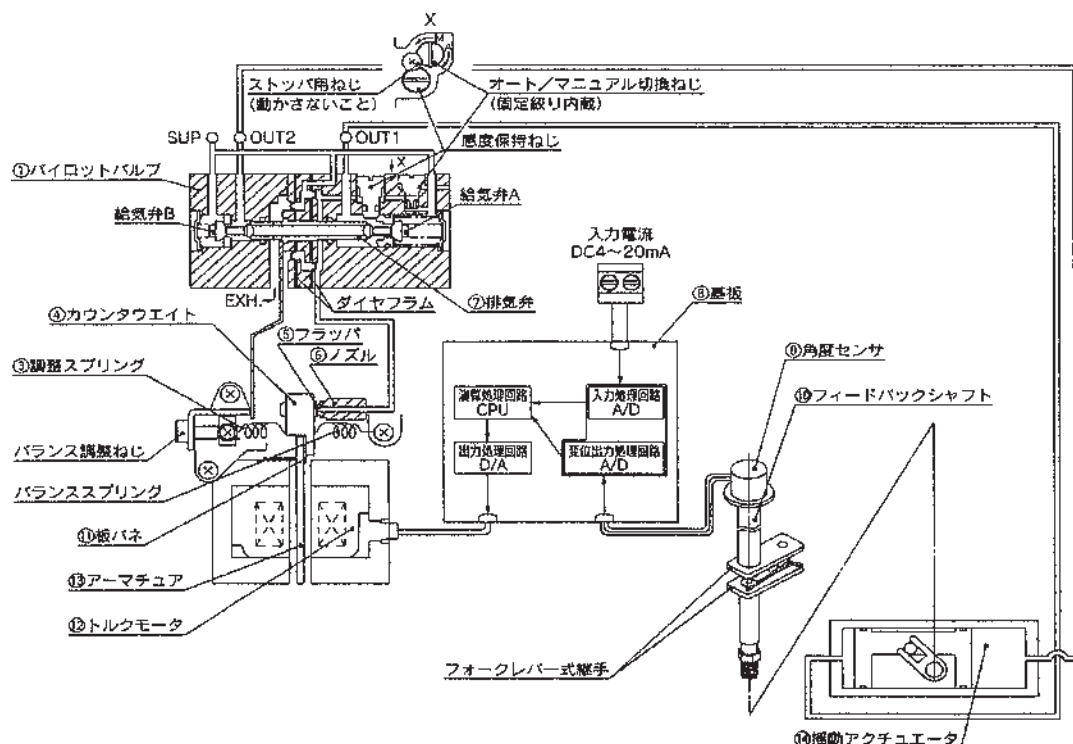


図4 スマートポジショナ動作原理図

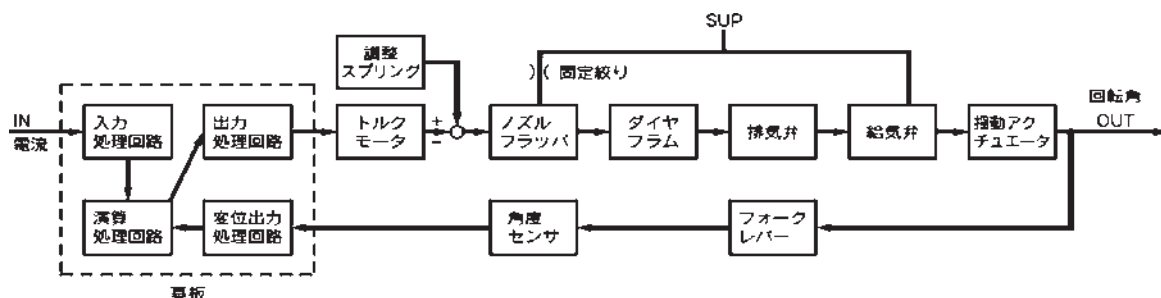


図5 スマートポジショナブロック線図

5. 動作原理

図4のスマートポジショナの動作原理図により、動作原理を以下に説明する。入力信号（4～20mADC）が増加すると、⑧基板の入力処理回路、演算処理回路、出力処理回路を介し、⑫トルクモータのコイルに入力されている電流が変化し、⑪板バネを支点として⑬アーマチュアが揺動する。これに伴い、⑤フラップと⑥ノズルの間隙が開き、ノズル背圧が下降する。その結果、①パイロットバルブ内の⑦排気弁が右方に動き、OUT1側の圧力が上昇し、OUT2側の圧力が下降することで、⑭揺動アクチュエータが動作する。⑭揺動アクチュエータの動作は、フォークレバー式継手、⑩フィードバックシャフト、⑨位置センサを介して、⑧基板の変位出力処理回路に伝達され、目標値（入力電流）と一致した開度で停止する。

上記信号の流れを図5のブロック線図に示す。

6. おわりに

本報では、スマートポジショナにおける機械式ポジショナからの機能向上点を中心について簡単に説明させていただいた。ご覧いただいた方に少しでも参考となる部分があれば幸いである。

[著者紹介]

わた なべ たかし
渡 邊 崇 君



2007年日本大学理工学部機械工学科卒。
2007年SMC株式会社へ入社。現在ポジショ
ナの設計を担当。

解 説

デジタル電空レギュレータ*
—マイコン搭載により高機能化を実現—

吉 田 享 平**

1. はじめに

近年生産設備の多機能化，自動化，省力化が進み，各種の空気圧機器が使用されてきたが，生産設備の多品種生産対応や，高機能・高精度化に伴い，空気圧機器も自由度を持たせる必要が出てきた。つまり，シリンダや治具の空気圧によって発生する力を変化させ，空気の流量を変化させる必要があり，これらの制御を行うとき空気圧を入力信号に比例して変化させる電空レギュレータが使用されている。

電空レギュレータは時代とともに高精度化，小形化が進みさまざまな種類のものが開発されてきた。図1に比例制御弁の分類について示す。

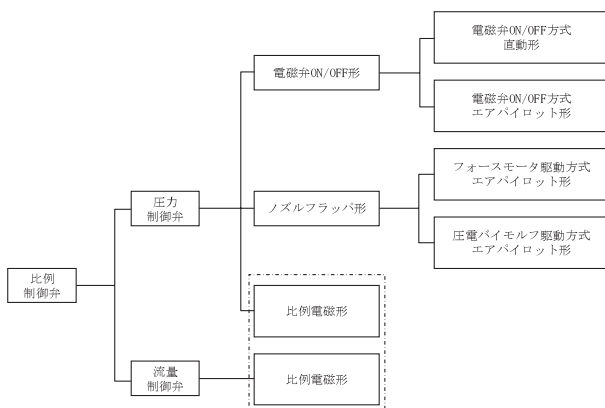


図1 電空レギュレータの動作方式

2. 電空レギュレータの種類と特徴

電空レギュレータの動作方式は，大きく分けて電磁弁ON/OFF形，ノズルフラップ形，比例電磁形の3種類に分けられる。近年の省エネ，小形化に伴い，空気消費量が少ない電磁弁ON/OFF形の電空レギュレータが開発されてきた。

また，駆動方式からは直動型とパイロット型に，

制御方式からはオープンループ制御とフィードバック制御に分類できる。フィードバック制御方式は出力センサにより感知し入力信号に対しフィードバックをかけているためオープンループ制御よりも高精度な設定ができる。

図2に代表的な電空レギュレータのブロック線図を示す。

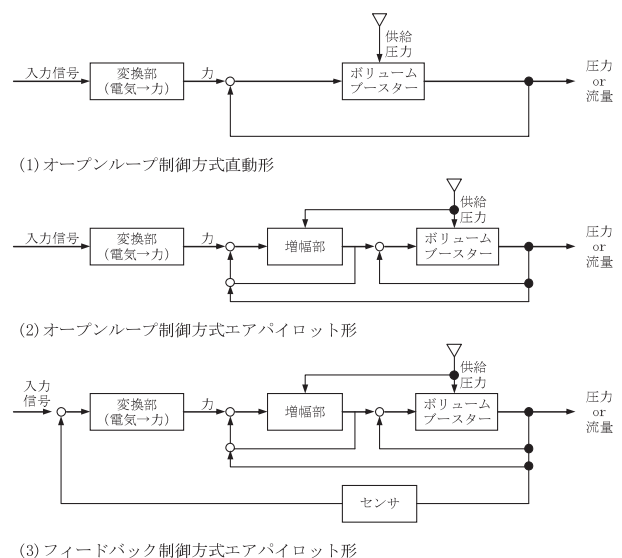


図2 代表的なブロック線図

(1)のオープンループ制御方式直動形は，入力信号（電気信号）を変換部（比例ソレノイドなど）で力に変換し，操作部にある弁（スプール弁，ポペット弁など）で空気圧を出力する。圧力比例制御弁の場合，この出力を操作部からの力に対抗させてバランスさせることで弁の動きを制御し，入力信号に比例した圧力を出力することができる。また，流量比例制御弁の場合，操作部の力に対抗するようにばねが入っており，入力信号に比例した弁開度が得られるようになっている。

(2)のオープンループ制御方式エアパイロット形は，直動形に比べ変換部の出力が小さいため，いったん増幅部（ノズルフラップなど）で力を増幅し，操作部に出力している。このため，消費電力が小さく，かつ精度のよい変換部を使用できるという長所がある。

*平成24年8月6日 原稿受付

**CKD株式会社コンポーネント本部 流体制御システムBU
(所在地 〒486-8530 愛知県春日井市堀ノ内町北一丁目850番地)

(3)のフィードバック制御方式エアパイロット形は、オープンループ制御方式エアパイロット形の出力センサで検知し、入力信号と比較して、その差を演算して自動補正するシステムを付加したものである。

3. デジタル電空レギュレータの開発コンセプト

近年、ユーザーの要求が多様化してきており、これに対応するためデジタル電空レギュレータを開発した。代表的なニーズとしては、下記のものが挙げられる。(図3)

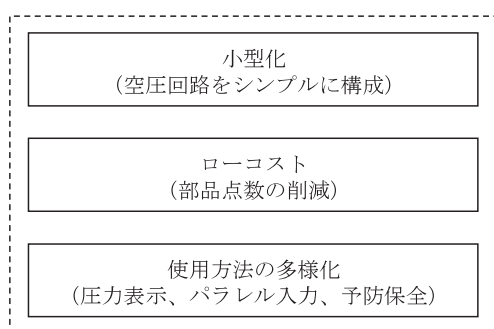


図3 多様なニーズ

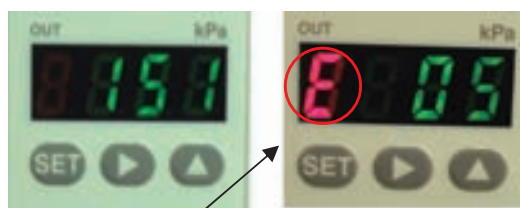
デジタル電空レギュレータは、これらのニーズに応えるため、マイコンを搭載した、多機能な電空レギュレータとなった。

4. デジタル電空レギュレータの特徴

マイコンを搭載したデジタル電空レギュレータの特徴を下記に示す。

〈特徴〉

- ①デジタル表示機能：動作状態、制御圧力が一目で分かるデジタル表示器搭載。(図4)
- ②エラー出力機能：エラー発生時、エラーコード・エラー出力(SW出力)により、製品不具合の検知が可能。(図4)
- ③ダイレクトメモリ入力機能：外部からの入力信号がなくても製品の操作キーからダイレクトに数値を入力して圧力制御することで、手動レギュレータと同じように使用することができる。



不具合検知

図4 デジタル表示機能・エラー出力機能

- ④プリセット入力機能：任意の圧力を8点設定し、外部からの3bit信号入力(PLC等からの信号)で圧力制御できる。(図5)

従来製品では、ワークにより別々の圧力を使用する場合、レギュレータ8台と電磁弁が8台必要であったが1台ですべての操作が可能。

この結果、空圧回路をシンプルに構成でき、装置の小形化・コストダウンが可能となった。

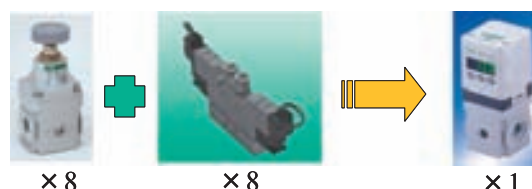


図5 プリセット入力使用事例

- ⑤パラレル入力機能：PLCのI/Oユニットと直結して制御可能。(図6)

従来では、D/A変換器を用いないとI/Oユニットからの出力を用いた、電空レギュレータの操作ができなかったが、マイコンを搭載することで、簡単にD/A変換器を内蔵することができ、D/A変換器を使用しなくても操作が可能となった。これにより、部品点数の削減ができローコスト化につながった。

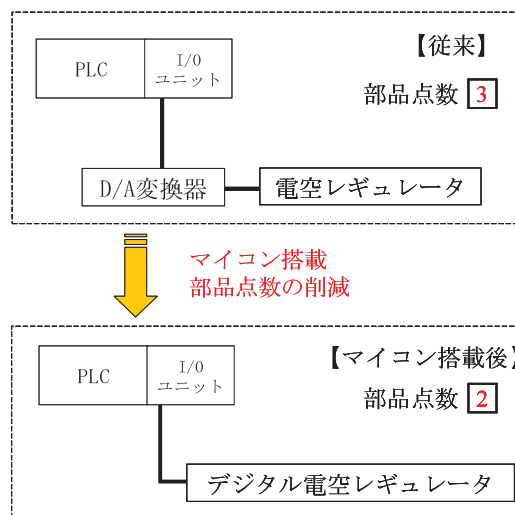


図6 パラレル入力例

- ⑥ゼロ・スパン調整機能：圧力範囲を操作キーにより、調整することが可能。(図7)
 - ⑦スイッチ出力機能：上限下限圧力の設定により、スイッチ出力(過電流保護内蔵)可能。電空レギュレータの動作判定に活用。(図8)
- モード1：設定値に到達した際に信号を出力する。

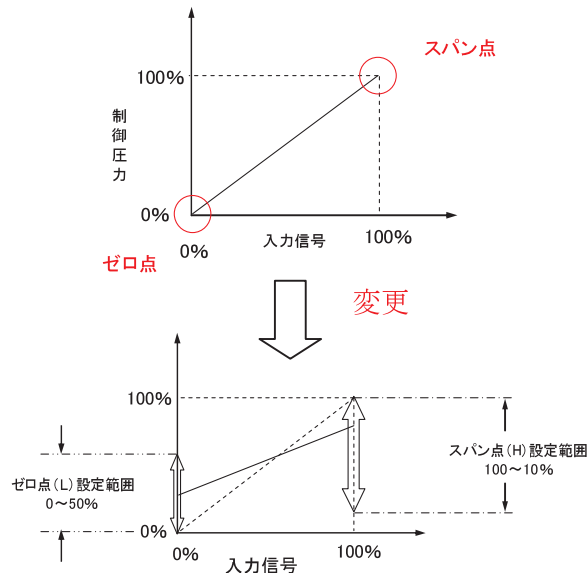


図7 ゼロ点・スパン点調整

(OK確認)

モード2：ある圧力範囲を外れたときに信号を出
力する。(NG検出)

- ⑧オートパワー OFF機能：デジタル表示器を自動
でOFFすることで、動作中の消費電力削減が可能。

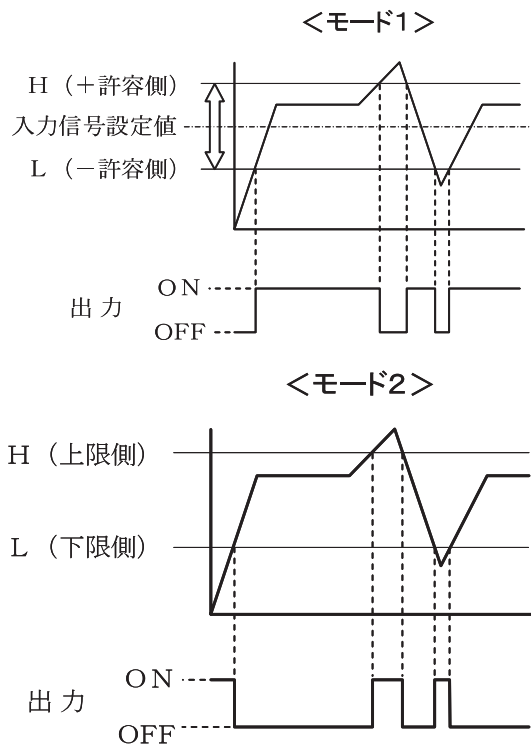


図8 スイッチ出力判定機能

5. 用途例

- ・液体吐出量制御 (図9)
圧力で容器内の液体吐出量を調整。

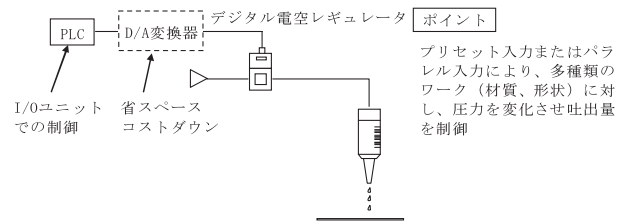


図9 液体吐出量制御

- ・研磨力コントローラ (図10)
砥石上のシリコンウエハ等のワークを押すシリ
ダの押し圧を制御して研磨する。

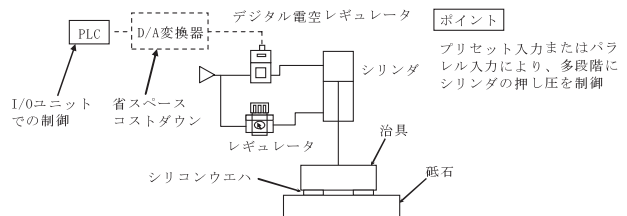


図10 研磨力コントローラ

6. おわりに

今回、マイコンを搭載したデジタル電空レギュレ
について紹介した。上記の用途例はもちろんのこと、
幅広い分野で付加価値の高い機能を持った製品提供
に貢献できると確信している。

[著 者 紹 介]

よし だ きょう へい 君
吉 田 享 平 君



2011年名城大学理工学部電気電子工学科
卒, 2011年CKD株式会社入社, 現在, 比
例制御機器の設計業務に従事。
E-mail: kyou-yoshida@ckd.co.jp

解 説

油圧回路設計・動特性解析用シミュレーションパッケージOHC-Simの現状*

桜井 康雄**

1. はじめに

OHC-Sim (Oil Hydraulic Circuit Simulation) は国産初の油圧回路設計・動特性解析用シミュレーションパッケージである。平成8年度に油圧回路設計用ソフトウェア開発事業が(社)日本油空圧学会(現、日本フルードパワーシステム学会)で策定され、同開発委員会でOHC-Simの基本バージョンの開発が行われた¹⁾。さらに、平成9年10月から平成13年3月の間に本学会に設置された第1期～第3期OHC-Sim特別研究委員会(委員長 東京電機大学 中田毅、幹事 九州工業大学 田中和博)は、OHC-Simの基本機能・油圧要素機器データベースの充実、ユーザーカスタマイズ機能の追加、ユーザーカスタマイズ機能を用いる際に必要となるボンドグラフモデル作成方法を含めたOHC-Simの習熟を目的として実施された。この間の委員会の研究成果をまとめ、平成13年3月に成果報告書²⁾と共にOHC-Sim Ver. 2.0 with User Customized Functionがリリースされ、平成13年5月より本学会においてこれらの頒布を開始した。第4期(平成13年6月～)の委員会(委員長 東京電機大学 中田毅、幹事 足利工業大学 桜井康雄)からは、OHC-Simの基本的機能・油圧要素機器データベースの充実、ユーザーカスタマイズ機能の改良、OHC-Simとそのユーザーカスタマイズ機能の習熟を目的とするとともに、水圧、空気圧、電動システムの動特性をOHC-Simでシミュレートする研究、フルードパワーシステムに関連したシミュレーション全般に関する研究事例の集積、企業側委員の抱えるシミュレーションに関する問題の検討についても取り扱うものとし、第11期(平成20年6月～平成21年5月)まで実施され、この期間中にOHC-Simは更新され、Ver. 2.2およびVer. 2.4がリリースされた。第12期(平成22年6月)以降は、不況の影響を強く受け、2社のみの参加となった。そのため、本委員会では、OHC-Simの改良を行うと

もに、この2社の要望に添った個別対応という形式で活動を実施した。第13期にはVer. 2.5が、第14期にはVer. 2.6がリリースされた。現在は、前述した形式と同様の形式で、第15期(平成24年6月1日～平成25年5月31日)を実施しているところである。

本稿ではOHC-Simの概要とVer. 2.5およびVer. 2.6で改良された点について解説する。

2. OHC-Simの概要

OHC-SimはWindows[®]上で動作するシミュレーションパッケージである。その基本構造を図1に示す。OHC-Simでは、図2に示したように、同種のシミュレーションパッケージと同様に油圧記号に基づいたアイコンを用いて、コンピュータのディスプレ

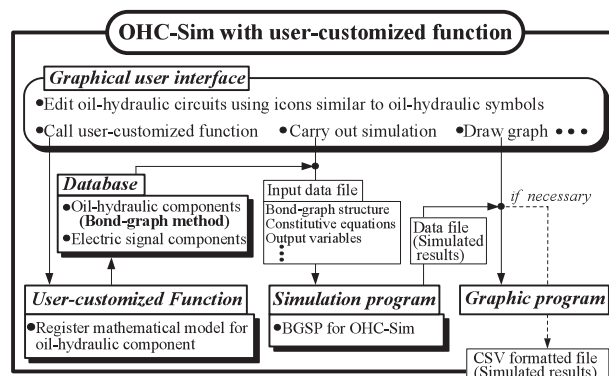


図1 OHC-Simの基本構造

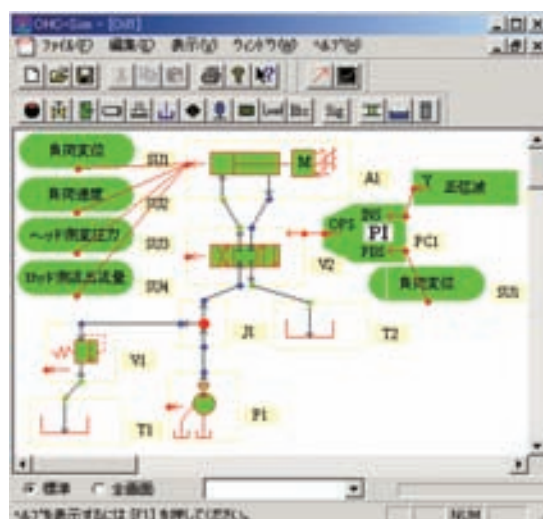


図2 回路図編集画面

*平成24年8月2日 原稿受付

**足利工業大学工学部

(所在地 〒326-8558 栃木県足利市大前町268-1)

イ上に、油圧回路を編集する。各油圧要素のパラメータはその要素に対応するパラメータ設定画面でSIあるいは工学単位で入力することができる。データベースには、油圧要素機器の数学モデルが、ボンダグラフ法により記述・登録されている。このデータベースに登録されている油圧要素機器の数学モデルを結合することにより、自動的に回路全体の数学モデルが導出され、BGSP for OHC-Simによりシミュレーションが実行される。そして、その結果は画面上で簡単に確認できる。さらに、ユーザーカスタマイズ機能により、ユーザー独自の油圧要素の数学モデルをOHC-Simに追加・登録することができ、既存の素子と組み合わせた広範な油圧回路の動特性のシミュレーションが可能となっている。この機能を用いてOHC-Simに油圧要素の数学モデルを取り込む際、ボンダグラフ法によるモデル化が必要となる。

3. OHC-Sim Ver. 2.5およびVer. 2.6

3.1 Ver. 2.5における改良点

OHC-SimはVer. 2.4まではシミュレーション時に計算エラーが生じた場合、計算バーではあたかも計算が行われているように表示されていた。そのため計算エラーがでているかユーザーにはわからず、OHC-Simに設定されている計算のタイムアウト時間である2時間が経過して初めて計算エラーが出ていたことがわかるという状況であった。また、計算エラーが計算の途中で生じた場合、計算エラーが出る前までのグラフを描くことはできなかった。

そこで、Ver. 2.5では、計算実行時にタイムアウトの時間を図3に示すようにユーザー側で設定できるように改良した。また、タイムアウトで計算が終了した場合、グラフを描くために必要なデータ（データファイルの最後で抜けているデータ）を0.0という値で補うようにし、タイムアウトで計算が終了した場合でもグラフを描くことができるようにした。タイムアウトさせた場合の計算結果を描いたグラフを図4に示す。OHC-SimVer. 2.4であれば計算した値が不自然に小さくなっているにも関わらずタイムアウトとして設定した2時間計算を続ける。しかしながら、Ver. 2.5でタイムアウト時間をユーザーが自由に設定できるようになり、タイムアウトした時間までのグラフを描くことができるようになったため、不自然な計算結果であることを早い段階で認識することができるようになった。このような不自然な計算結果となる場合、一般的には油圧要素のモデルのパラメータの設定ミスによるものであり、これらの機能を搭載したOHC-SimVer. 2.5では、これを効率よく発見できるようになった。ただし、



図3 改良した計算実行画面



図4 タイムアウトした場合のグラフの描画

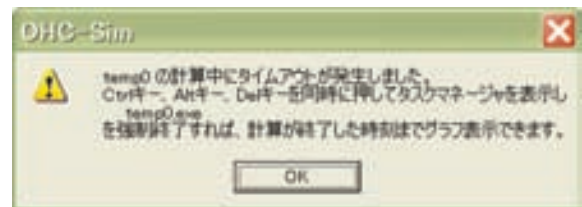


図5 タイムアウト時に表示されるメッセージ

タイムアウトで計算が終了した場合、図5に示したOHC-Sim上に表示されるメッセージに従い計算用の実行ファイルを手動で終了させる必要がある。

大きな改良は上述した点であるが、ボンダグラフ用のシミュレーションプログラムを使っていたユーザーのためにシミュレーションプログラムBGSP for OHC-Sim (図1参照) 用の入力データファイルを残すことが選択できる機能および画面右下にカレントディレクトリを表示する機能を付け加えた。

3.2 Ver. 2.6における改良点

Ver. 2.6においては編集画面の機能の向上およびグラフ機能の強化を行った。

OHC-SimVer. 2.5までは油圧要素間の結合は要素の入出力ポートを直線で接続していた。また、油圧要素は画面上で回転させることができなかった。そのため、OHC-Sim編集画面上に描いた油圧回路は必ずしも見やすいものではなかった。

そこで、OHC-SimVer. 2.6では、図6に示すように画面上に配置した油圧要素アイコンを回転させることができるようにした。油圧要素アイコン上でダブルクリックすると90°毎に同じ位置で油圧要素アイコンが回転する。また、図7に示した通り、油圧要素を接続する際に、その線が自動的にその線の中

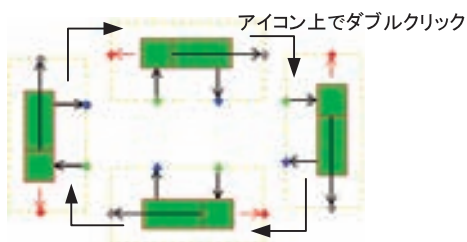
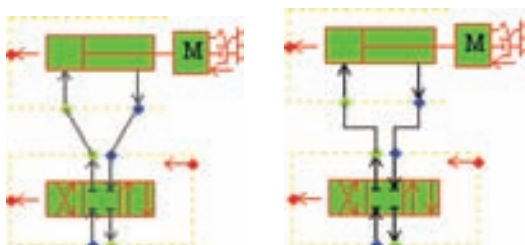


図6 素子の回転



(a) Ver. 2.5まで (b) Ver. 2.6から

図7 油圧要素間の接続

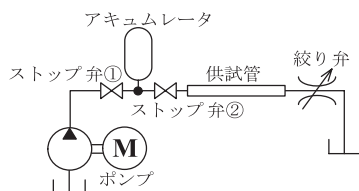


図8 油圧回路1

点で折れるようにした。このような編集画面上の改良を施したOHC-SimVer. 2.6を用いて図8に示した油圧回路を編集した結果を図9に示す。図10に示したVer. 2.5以前のOHC-Simで同じ油圧回路を描いた編集画面と比較するとその改良の効果が良くわかる。グラフ機能においては、従来は物理量と時間の関係のみの表示機能だけであったが、物理量どうしの関係を描くことができる機能を追加した。

4. おわりに

本稿ではOHC-Simの概要とVer. 2.5およびVer. 2.6で改良された点について解説した。ここで示した通り、OHC-Simも少しずつではあるがユーザーにとって使いやすくなっている。本学会の会員であれば、本学会のホームページからOHC-Sim公開版を無償でダウンロードできるようになった。この版には豊富な例題集が準備されており、OHC-Simの使い方をマスターしつつ、油圧回路のコンピュータシミュレーションの有用性を体験することができる。これを通して、OHC-Simに興味を持たれた方は、価格が低く設定されているOHC-Simをぜひ一度お使いいただき（本学会にて頒布）、建設的なご意見を本委員会にお寄せいただくこと、さらには、本委員会に参加していただくことを期待している。

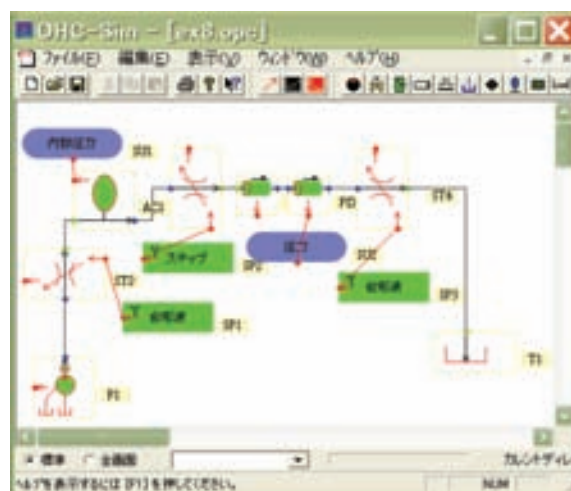


図9 Ver. 2.6における油圧回路1の編集画面



図10 Ver. 2.5以前における油圧回路1の編集画面

参考文献

- 1) 中田毅, 田中和博, 幸田武久, 桜井康雄, 鈴木勝也: 油圧回路の設計・動特性シミュレーション用プログラムOHC-Simの紹介, 油圧と空気圧, Vol. 28, No. 2, p. 76-82 (1997)
- 2) 中田毅, 田中和博, 幸田武久, 桜井康雄: OHC-Sim特別研究委員会成果報告書, (社)日本油空圧学会 (2001)

[著者紹介]

さくら い やす お
桜井 康雄 君



1986年上智大学大学院博士前期課程修了。富士重工業(株)、上智大学助手等を経て2000年足利工業大学講師、2001年同大学助教授、2007年同大准教授、2009年同大教授、現在に至る。油空圧システムの動特性解析、ECFを利用したシステムの開発に従事。日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会の会員。博士(工学)。

E-mail: ysakurai@ashitech.ac.jp

解 説

阿佐ヶ谷プロジェクトー3次元免震建物の地震観測*（後編）

高 橋 治**

6. ARXモデルによる剛性および減衰定数の同定

図5（前編に掲載）に示したBF（地下ピット）、1F、RFそれぞれにおいて得られた地震観測記録に対し、差分方程式モデルを用いたシステム同定を行い、本建築物の時間領域における固有振動特性から免震効果を評価する。差分方程式モデルには、文献14)において提案された「モード解析型多入力多出力ARXモデル」

(MIMO-ARX-MA)を用いる。yを出力、uを入力、eを白色雑音のそれぞれ列ベクトルとすると、MIMO-ARX-MAは次式で表される。

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t) \quad (1)$$

ただし、

$$A(q) = 1 + \sum_{j=1}^{n_a} a_j q^{-j} \quad (2)$$

$$B(q) = [B_{mn}(q)] \quad (3)$$

$$B_{mn}(q) = \sum_{j=1}^{mn n_b} b_{j, mn} q^{-j+1-mn n_k} \quad (4)$$

q^{-1} は時間遅れ演算子（シフトオペレータ）、 n_a 、 n_b はそれぞれ $A(q)$ 、 $B(q)$ の次数である。本章では、このMIMO-ARX-MAを用いた評価法により、BF（地下ピット）を入力とし、1F、RFでの応答を出力とした1入力2出力系でのシステム同定を行う。対象区間は0～300秒区間とし、評価のモード次数は4次から14次までの間で、MIMO-ARX-MAに入力を与えて得られるシミュレーション波形と観測記録波形の二乗誤差の分散が最小となるものを選ぶシミュレーションエラー¹⁴⁾(SE)により最適モード次数を6 ($n_a = 6$)と決定した。また、 n_b および n_k はそれぞれ7、0としている。

同定結果の一例として、各方向における記録波形とシミュレーション波形との比較を図15に示す。図より、記録波形とシミュレーション波形はよく一致しており、適切なパラメータ推定がなされていることが確認できる。モデルパラメータの推定結果を

表3に示す。1次モードにおける固有周期は水平方向で2.0秒程度、上下方向で1.2秒程度であり、前述の加速度フーリエスペクトルの比から求めたBF（地下ピット）－1F間における周期伝達関数の極大値を与える周期とおおむね良い対応を示している。また、各方向の刺激関数を見ると、1次モードと比較して2次モード以降の値はきわめて小さく、1次

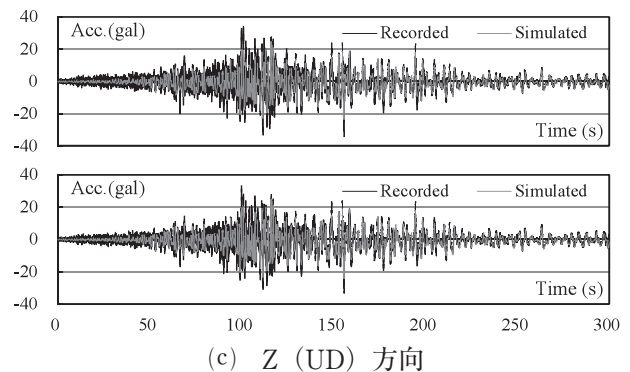
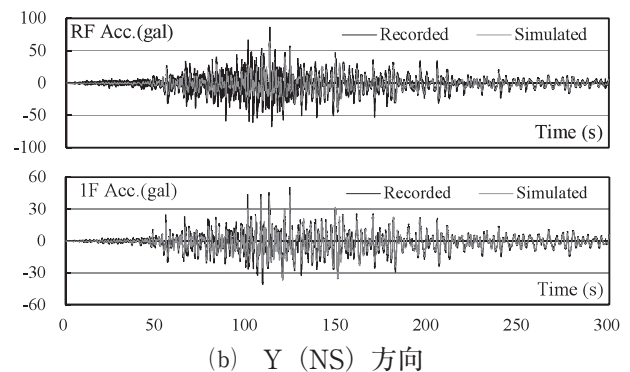
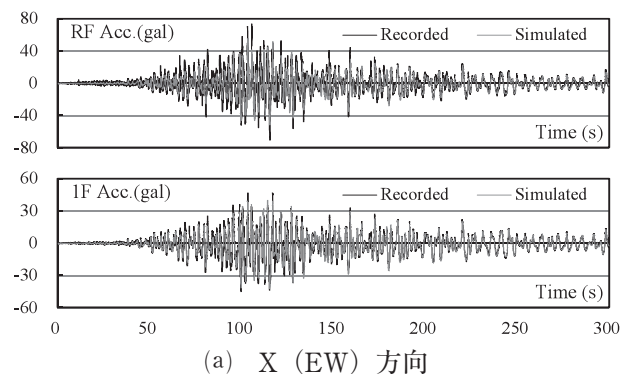


図15 MIMO-ARX-MAによるシミュレーション波形と記録波形との比較

*平成24年2月8日 原稿受付

**（株）構造計画研究所構造設計部

（所在地 〒164-0012 東京都中野区本町4-38-13）

表3 モーダルパラメータの推定結果一覧

方 向	モード	周期 (s)	減衰定数 (%)	刺激関数 βu
X	1	2.03	25.9	1.021
	2	0.61	2.0	0.002
	3	0.44	0.3	-0.007
Y	1	1.87	29.7	0.957
	2	0.62	2.9	0.018
	3	0.44	0.4	0.007
Z	1	1.18	22.5	0.782
	2	0.47	1.3	0.002

モード系が支配的であることが確認できる。そこで次に、1次モードに着目して計算モード次数を4に固定し、解析対象区間10秒間の同定を観測記録の継続時間領域上で1秒ずつずらしながら行い、1秒ごとに変化する剛性および減衰定数を求める。図16、図17、図18に1次モードにおける固有周期、減衰定数、刺激関数の時系列変化を示す。図16より、継続時間40秒付近の比較的大きな揺れを記録する以前から水平および上下方向の振動周期は徐々に変化し、1次固有周期へと漸近していく。水平および上下方向とも、多少のばらつきはあるものの、ほぼ一定の周期となっており、3次元免震の効果を確認できる。1次モードにおける減衰定数は、X (EW) 方向で26%程度となり、一定値付近を推移しているが、Y (NS) およびZ (UD) 方向ではややばらつきが見られる。加えて、継続時間50から200秒の間における刺激関数に着目すると、Y (NS) 方向で1.5、Z (UD) 方向で1.0程度と、直前の区間よりその値が大きくなっていることから、ロッキング動の影響が考えられる。しかしながら、Z (UD) 方向では同区間において、減衰定数が20～30%程度と大きな値を推移しており、この区間においてはロッキング抑制付オイルダンパによる抑制効果が働いていると推測できる。また、その後の継続時間200秒以降においては、Z (UD) 方向の刺激関数および減衰定数が小さくなっていることから、地動のロッキング動による影響は小さくなり、上下方向の並進1次モードが支配的になったと考えることができる。

7. シミュレーション解析

観測された地震記録に対して、シミュレーション解析を行った。図19に3次元免震装置およびロッキング抑制付オイルダンパシステムの解析モデルを示

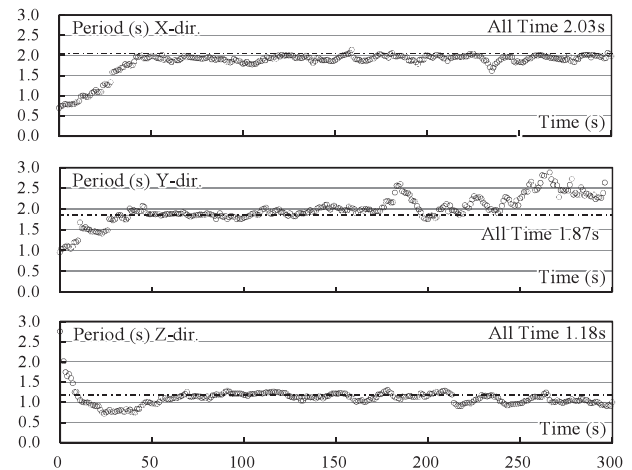


図16 1次固有周期の時系列変化

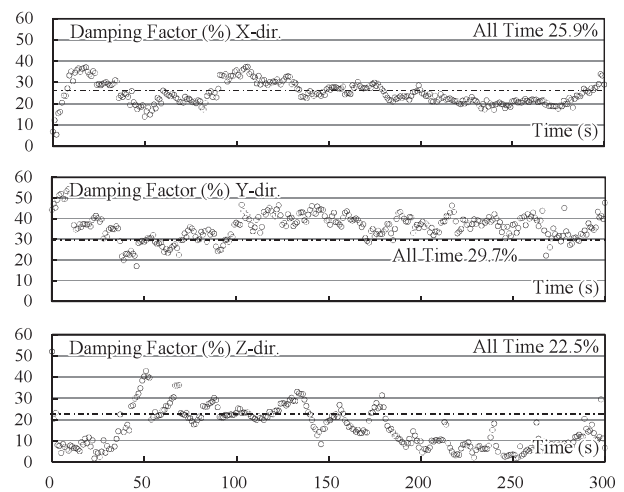


図17 1次モードにおける減衰定数の時系列変化

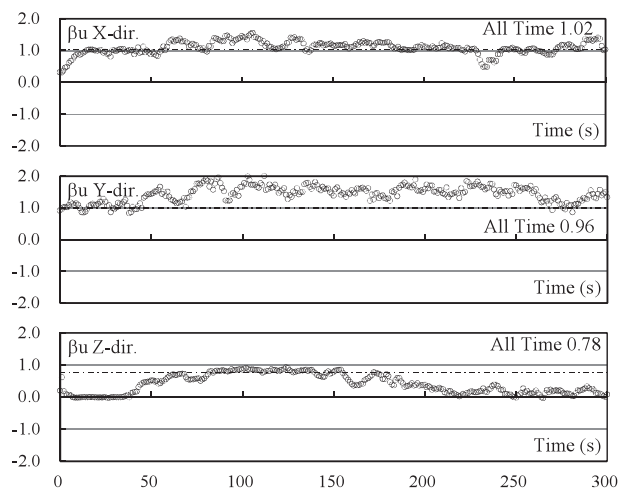
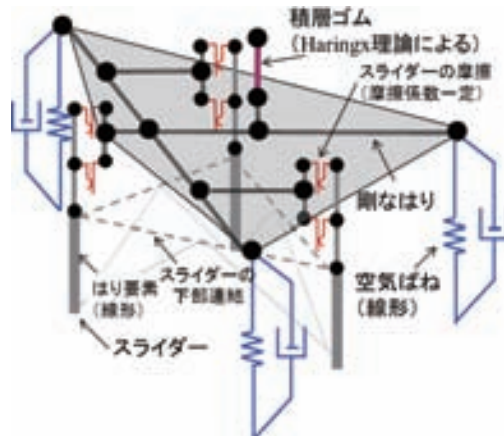
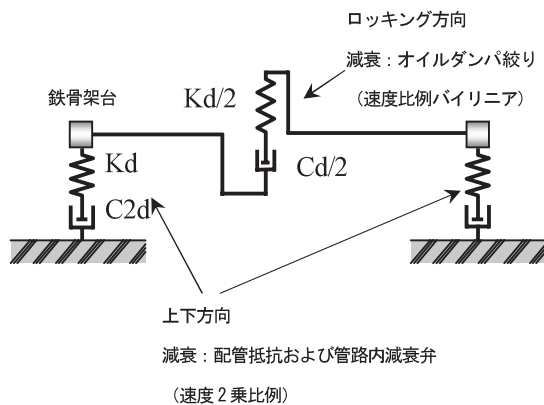


図18 1次モードにおける1Fの刺激関数の時系列変化

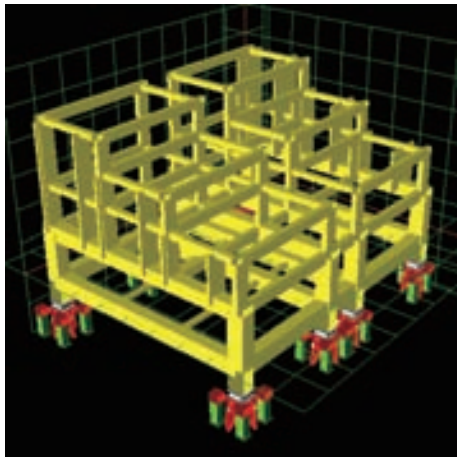
す。また、表4に各装置のモデル化内容を示す。これらの解析モデルは3次元免震装置を構成する個々の部材（積層ゴム、空気ばね、スライダ（せん断力伝達装置））およびそれら個々の部材を組み合わせ



(a) 3次元免震装置の解析モデル



(b) ロッキング抑制付オイルダンパの解析モデル



(c) 建物全体の立体フレーム解析モデル

図19 解析モデル

せた3次元免震装置の実大試験を行い、その妥当性を確認している^{10), 11)}。ロッキング抑制付オイルダンパシステムについても、同様に実機での試験を行い、解析モデルの妥当性を確認している¹⁰⁾。上部構造は3次元の立体フレームモデルとし、3次元免震装置は積層ゴム、空気ばね、スライダ（せん断力伝達装置）を位置関係も含めて個々にモデル化している。積層ゴムはHaringx理論に基づき、材端での

表4 各装置のモデル化内容

要素	モデル化内容
積層ゴム	水平・回転連成考慮 (Haringx理論に回転剛性の水平変位依存性を考慮)
空気ばね 空気ばねオリフィス	剛性：線形 減衰：速度2乗比例型
スライダ	完全弾塑性型、摩擦係数一定 (オイレスプッシュ位置の変動を考慮)
ロッキング抑制付 オイルダンパシステム	Maxwell型 【上下方向】 剛性：線形、減衰：速度2乗比例型 【ロッキング方向】 剛性：線形、減衰：速度比例型バイリニア
水平オイルダンパ	Maxwell型 剛性：線形 減衰：速度比例型バイリニア

水平および回転自由度を考慮したモデル^{15), 16), 17)}である。空気ばねは線形剛性を有し、ゴムベローズによる空気室と鋼製の補助タンクとの間のオリフィスによる空気の流通を評価した速度2乗比例型の減衰のモデル¹⁰⁾としている。スライダ（せん断力伝達装置）は個体摺動ベアリング（オイレスプッシュ）を組み込んだ保持筒が中実の鋼棒（ロッド）に沿って滑る構造となっている。しかし、上部構造からの曲げモーメントとせん断力を同時に受けるため、オイレスプッシュとロッドがこじれた状態で摩擦を生じるため、摩擦係数を評価した完全弾塑性型の解析モデルを設定している¹¹⁾。また、図19(b)に示すように、ロッキング抑制付オイルダンパシステムは免震層四隅の対角位置にある2体のオイルダンパのクロス油圧配管を考慮し、それぞれをMaxwellモデルで連結している¹⁰⁾。モデル定数は設計で用いた標準値を基本としたが、観測記録のスペクトル特性および積層ゴムの単体試験から得られた振幅依存性を考慮し、積層ゴムのせん断剛性は標準値の1.5倍として解析した。解析モデルへの入力BF（地下ピット）で観測された加速度記録とし、入力方向はX（EW）方向、Y（NS）方向、Z（UD）方向の3方向同時入力とした。

上部構造の最大応答加速度分布に関して、解析値と観測値を比較して図20に示す。水平方向に関してはRFでは観測値が解析値よりも大きな値となって

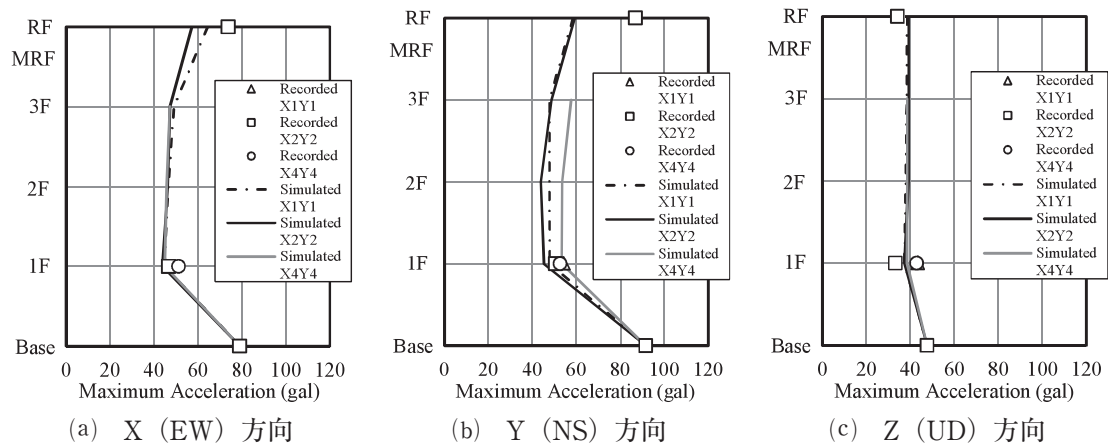


図20 最大応答加速度分布に関する解析値と観測値の比較

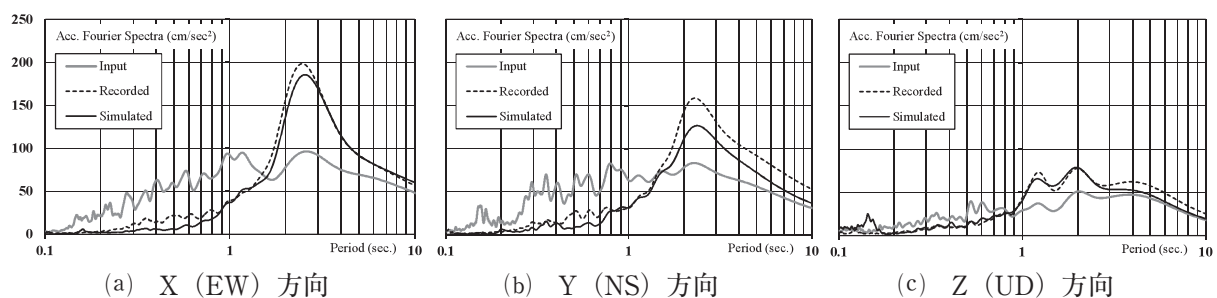


図21 1Fの加速度フーリエスペクトルに関する解析値と観測値の比較

表5 免震層の最大応答に関する解析値と観測値の比較

計測項目	計測点 (X通り*Y通り)	単位	方向	観測値	解析値
相対変位	X1*Y2	(mm)	X	42	50
			Y	36	38
			Z	10	14
相対変位	X4*Y3	(mm)	X	40	46
			Y	40	39
			Z	13	14
相対変位	X1*Y1	(mm)	Z	13	15
相対変位	X1*Y4	(mm)	Z	15	14
相対変位	X4*Y1	(mm)	Z	15	14
空気圧	Group 1	(MPa)	—	0.023	0.022
空気圧	Group 2	(MPa)	—	0.018	0.023
空気圧	Group 3	(MPa)	—	0.021	0.022

いるが、1Fにおける最大応答加速度については水平および上下方向ともに解析値と観測値は同等となっている。1Fのほぼ中央位置 (X2*Y2) の加速

度計の加速度時刻歴波形から算定した加速度フーリエスペクトルを図21に示す。図には、比較のために観測値である入力加速度フーリエスペクトルも併せて示している。水平および上下方向ともに解析値は観測値よりやや小さめの評価となるものの、両者はよく整合しており、固有周期1.0秒より短周期の応答が大きく低減される免震効果を精度よく評価している。

免震層で観測された免震層の最大相対変位、空気ばねの最大変動内圧に関して、解析値と観測値を比較して表5に示す。免震層の最大相対変位は、いずれの変位計に対しても解析値は観測値を精度よく再現している。上下方向の免震装置として用いている空気ばねについては、解析では各空気ばね間の連通はないものとして計算しているため、各群に対応する空気ばねの変動圧力を平均して解析値としたが、解析値は観測値とほぼ同等の応答となっている。

8. おわりに

3次元免震システムを適用した建築物の地震観測記録について考察した。2011年東北地方太平洋沖地震における本建築物の観測記録は継続時間全672秒と、非常に長時間の記録となった。しかしながら、その観測記録における本建築物の最大応答加速度、

免震層の水平および上下の最大応答変位，建築物のロッキング角，空気ばねの変動内圧について整理し，システム同定を行うことで，3次元免震システムの地震動に対する実測効果を確認することができた．また，実機試験から得られた解析モデルによるシミュレーションを実施し，本建築物の最大加速度，免震層の水平および上下最大相対変位，空気ばねの変動内圧を精度よく再現できることを確認した．

病院，防災施設といった防災上重要な建築物では地震後の機能維持が強く要求される．3次元免震システムはこのような建築物の構造安全性や機能維持に加え，BCP（事業継続計画）の観点からも精密工場などの建築物が内蔵する設備を保護するための効果的な技術であると考えられる．今後の展望としては，より高層の建築物への適用や戸建て住宅向けなどの小型でより安価な3次元免震システムの開発，防災センター，官公庁への普及も期待される．

謝 辞

本建築物の構造設計にあたっては藤田隆史・東京大学名誉教授のご指導の下，(株)構造計画研究所・清水建設(株)・カヤバシステムマシナリー(株)により行われており，本建築物に適用した装置開発にあたっては，日本原子力発電(株)が経済産業省から受託して設けた3次元免震委員会（委員長：藤田隆史・東京大学名誉教授）の指導により，日本原子力研究開発機構（旧核燃料サイクル開発機構）と民間各社の技術協力^{3)~7)}を得て実施した「発電用新型炉技術確証試験」⁸⁾の成果の一部を活用しました．ここに記して

謝意を表します．

参 考 文 献

- 14) 斎藤知生：モード解析型多入力多出力ARXモデルを用いた高層建物のシステム同定，日本建築学会構造系論文集，第508号，p. 47-54, (1998)．
- 15) 三山剛史：積層ゴムの上下面に回転角を与えた場合の力学性状に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第556号，p. 43-50, (2002)．
- 16) 飯塚真巨：積層ゴムの大変形挙動をシミュレートする巨視的力学モデル，日本建築学会構造系論文集，第568号，p. 83-90, (2003)．
- 17) 北村佳久ほか：積層ゴムにおける傾斜付加時の力学特性について その1～その3，日本建築学会大会学術講演梗概集B-2，p. 371-376, (2008)．

[著 者 紹 介]

たか はし おさむ
高 橋 治 君



1967年 東京都北区生まれ．東京理科大学工学部建築学科卒業，同大学院建築学専攻修了．1991年 株式会社構造計画研究所へ入社し，現在は執行役員兼構造設計部部长．博士（工学），構造設計一級建築士，建築構造士，日本建築学会会員など．

E-mail : taka@kke.co.jp

FPIC会議報告

ROBOMECH2012におけるフルードパワー技術研究動向*

金 俊 完**

1. はじめに

ロボティクス・メカトロニクス講演会（以下、ROBOMECH）は、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門が主催する全国規模の研究交流集会であり、毎年開催される。ROBOMECHでは、社会発展に貢献できる知の創造、知の共有、知の継承を支援することを目的に、ロボティクスとメカトロニクスなどの分野における新たなアイデア、研究成果、今後の方向性を議論・討論する。今回で24回目を迎えるROBOMECH2012は、「グリーン&ライフイノベーションで未来を拓くロボティクス・メカトロニクス」をテーマに2012年5月27日から29日までアクトシティ浜松で開かれた。ROBOMECH2012の会議要約によると、幅広い分野から1306件もの投稿があり、各研究は14分類のセッション別に発表された。本報告では、これらの研究発表を1) 油圧・水圧、2) 空気圧、3) 機能性流体の応用の大枠に分類し、代表的な研究成果について紹介する。

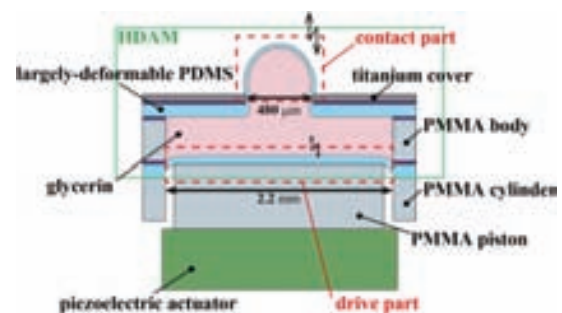
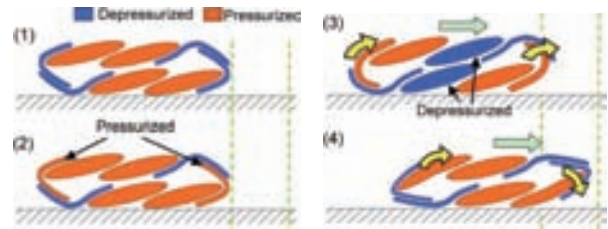
2. フルードパワー技術に関する発表

2.1 油圧、水圧とフルードパワー技術

ROBOMECH2012では、フルードパワー技術の油圧分野の発表として7件、水圧分野として4件の研究発表が行われた。その中、2件の研究を紹介する。

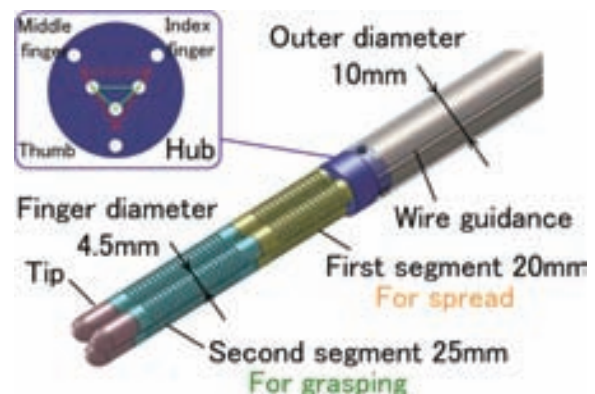
三木らは、Slow Adapting (SA)とFast Adapting (FA)の両方の刺激を可能にする触覚提示ディスプレイの開発を目的として、MEMS技術による大変位マイクロアクチュエータアレイを検討している¹⁾。この触覚ディスプレイの主要要素であるアクチュエータは、図1のように油圧式変位増幅機構(HDAM)と積層型圧電素子から構成される。このアクチュエータのアレイ化で実現された触覚ディスプレイを用いて、点字判別実験と触覚判別実験を行い、このデバイスの有効性を示している¹⁾。

伊能らは、図2のようにロボット全体が柔軟に変形可能な狭隘地形ロボット(MOLOOP)を提案しており、小型化と速度向上を目的とし、ナイロン繊維を用いることで高耐圧化が可能なクローラを構成要素とするMOLOOPを開発している²⁾。

図1 触覚ディスプレイ用アクチュエータの断面¹⁾図2 柔軟に変形可能な狭隘地形ロボット²⁾

2.2 空気圧

ROBOMECH2012で発表された空気圧の応用研究は総計81件であり、この中、2件の研究を紹介する。

図3 腹腔鏡手術用空気圧駆動ロボットハンド³⁾

*平成24年9月6日 原稿受付

**東京工業大学精密工学研究所

(所在地 〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-42)

川嶋らは、低侵襲な腹腔鏡手術で広く普及されている細い鉗子は臓器の把持や圧排が難しいことに着目し、図3のように弾性関節構造を指の関節に利用し空気圧シリンダを用いて駆動することで、柔軟な把持が可能であるとともに圧排に必要な指先力を有する腹腔鏡手術用ハンドを開発している³⁾。この研究では、ワイヤを介して空気圧シリンダで駆動することで、十分な把持力を得られることを実験により確認している³⁾。

塚越らは、波でがれきが常時動く劣悪環境での海洋探査を目的として、図4のように流体ロープウェイを用いた探査方法を提案している。流体ロープウェイは、内部に流体エネルギーを供給する1本の消防ホース、探査機器を搭載したゴンドラ、およびホースの折り返し点で海洋の所定の箇所に固定するためのフロートとアンカーで構成される⁴⁾。図5のように、ホース内に流体エネルギーを供給することにより、ゴンドラをホースに沿って双方向にスライドさせ、岩場の露出した浅瀬でも安定に移動できることを実験的に確認している⁴⁾。

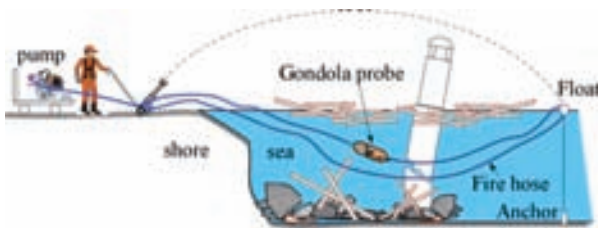


図4 ロープウェイ式海洋探査ロボットの概念⁴⁾

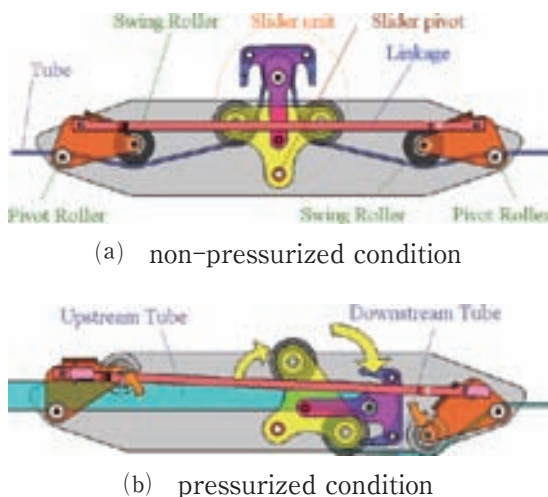


図5 流体ロープウェイの駆動原理⁴⁾

2.3 機能性流体

ROBOMECH2012での研究発表は、大半が電磁モータを用いた研究であり、特に機能性流体に関する研究は少ない。ROBOMECH2012では、ECF関連で5件、

ERF関連で3件、MRF関連で2件の研究発表があり、その中1件の研究を紹介する。

竹村らは、機能性流体であるECFを応用して、タービン型ECFモータについて検討している⁵⁾。従来のECFモータではECFの運動エネルギーを効率的に回転運動に変換させる構造的検討が行われていないことに着目して、タービンロータ（図6）を用いることにより出力パワーが高いECFモータの実現を目的としている。図7のようなタービン型プロトタイプを製作して、この性能を明らかにしている⁵⁾。

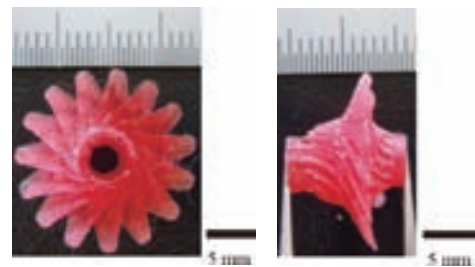


図6 製作したタービンロータ⁵⁾

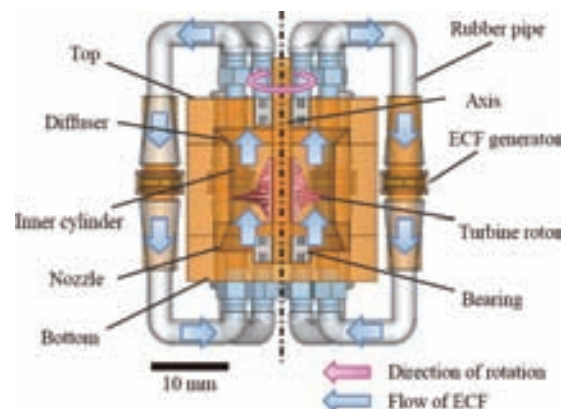


図7 タービン型ECFモータのプロトタイプ⁵⁾

3. おわりに

ROBOMECH2012はロボット関連の会議であり、フルードパワーを用いた研究発表は少ない。今後、フルードパワーシステムに関する研究が増え、ロボティクス・メカトロニクス分野での発展を期待する。

参考文献

- 1) 三木, 他4名: ROBOMECH2012論文集, 2P1-N05
- 2) 伊能, 他2名: ROBOMECH2012論文集, 2A1-D03
- 3) 川嶋, 他3名: ROBOMECH2012論文集, 2P1-T04
- 4) 塚越, 他4名: ROBOMECH2012論文集, 2A1-O07
- 5) 竹村, 他3名: ROBOMECH2012論文集, 2A2-A10

[著 者 紹 介]

きむ じゅうん わん
金 俊 完 君



2005年東京大学大学院博士後期課程精密機械工学専攻修了。2005年東京工業大学精密工学研究所助教。現在に至る。機能性流体とMEMS技術を融合した研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。工学博士。

E-mail : woodjoon@pi.titech.ac.jp

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

第55回自動制御連合会講演会

主 催：システム制御情報学会（幹事学会）、日本機械学会、計測自動制御学会、化学工学会、精密工学会、日本航空宇宙学会、電気学会

期 日：2012年11月17日(土)、18日(日)

場 所：京都大学、吉田キャンパス、吉田南機構内（京都市左京区吉田二本松町）

キャビテーションに関するシンポジウム（第16回）

主 催：日本学術会議 第3部（予定） 第16回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会
（委員長：東京大学大学院教授・松本洋一郎）

開 催：平成24年11月23日(金・祝)、24日(土)

会 場：金沢工業大学（〒921-8501 石川県『野々市市扇が丘7-1』）

連 絡 先：金沢工業大学工学部機械工学科 佐藤恵一教授 TEL：076-248-9214 FAX：076-294-6734
e-mail : cav16@mlist.kanazawa-it.ac.jp

日本機械学会 講習会「魅力を設計する」～成熟から革新へ～（設計工学・システム部門 企画）

主 催：一般社団法人 日本機械学会

期 日：2012年11月30日(金)

会 場：東京大学 工学部11号館講堂（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）

日本機械学会関西支部 第323回講習会

「機械加工における計測の基礎と最新動向」一行程・品質管理のための測定評価と利活用一

主 催：一般社団法人 日本機械学会

日 時：2012年12月4日(火)、5日(水) 9:30～16:50

会 場：大阪科学技術センター 8階 中ホール（大阪市西区靱本町1-8-4／電話（06）6443-5324（代）／地下鉄四つ橋線「本町」駅下車、28番出口北へ400m）

一般社団法人 日本機械学会 関西支部 第324回講習会

「事例に学ぶ流体関連振動（トラブル事例相談会付き）」

共 催：機械力学・計測制御部門

開 催：2013年1月28日(月)、29日(火) 9:10～17:00

会 場：大阪科学技術センター 8階 中ホール（大阪市西区靱本町1-8-4／電話（06）6443-5324（代）／地下鉄四つ橋線「本町」駅下車、28番出口北へ400m）

教 室

おもしろ油圧機構 第9回 ハイドロスタティックトランスミッション*

大 橋 彰**

1. はじめに

ハイドロスタティックトランスミッションHSTとは、静油圧伝動装置と称され、流体エネルギー（圧力と流量の積）を媒体とした変速装置の一種である。主として圧力エネルギーの伝達に重きを置き、容積形のポンプとモータにより構成される。一方、流体の流量すなわち運動エネルギーに重きを置いたハイドロダイナミック形の変速装置では、ターボ形機器が用いられ、トルクコンバータや流体継手などがある。

2. HSTの基本回路

図1にHSTの基本回路を示す。

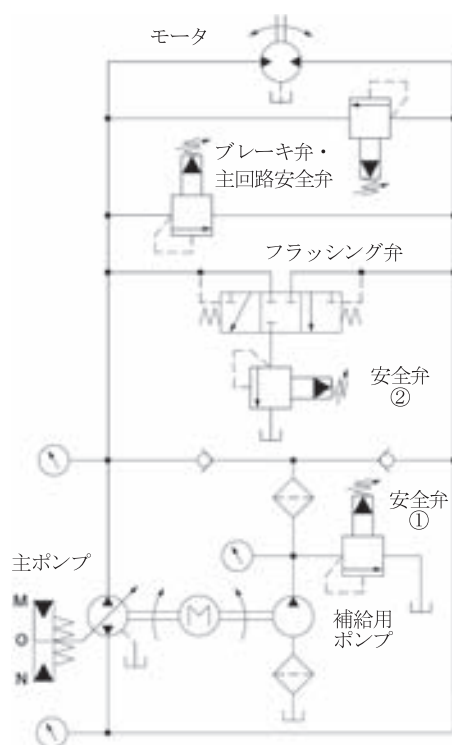


図1 HST 回路

図1左下の主ポンプと上部のモータの入口・出口ポートはそれぞれ配管で接続される。一般の産業機械用開回路と異なり、モータ出口の油がタンクに戻らずポンプの入口に戻る閉じた回路構成のため、閉回路と呼ばれる。補給用ポンプは、フィルタを経由して回路内に油を充満させ、入れ替えと冷却を行ない、清浄度を保つ。安全弁①は、安全弁②より高圧に設定され、補給用ポンプから吐出された油がフラッシング弁を通してタンクに戻る。

図1では、可変容量形ポンプにより定容量形モータの速度を調整するが、モータを可変容量形として調整範囲を拡大する組合せもある。回転方向が一定でも油の吸入・吐出が反転する両傾転形ポンプであれば、モータは正・逆回転し、車両の走行装置では前・後進が可能となる。

HSTは、ポンプで直接速度を制御するためポンプ圧が回路圧となり、弁による制御に比べ動力伝達効率に優れ、熱発生も少ないという特長がある。また、負荷の慣性による油圧モータのポンプ作用により、ポンプを油圧モータとして作用させ、動力を吸収できる。走行装置では、走行状態からポンプ容量を低減していくと良好なブレーキ作用が得られる。装置への据付けや配置の自由度も高い。

3. HSTの用途

HSTには、上述のポンプ・モータを配管接続する形式の分離形と、両者を一体とした比較的小形の一体形がある。

HSTの用途は、トラクタ、コンバイン、ブルドーザ、ホイールローダ、振動ローラ、アスファルトフィニッシャ、トラックミキサ、芝刈り機、ゲレンデ整備車など幅広い。走行装置としての発進時の力強さ、変速のスムーズさ、良好なブレーキ作用など、油圧ならではの特長がある。2対のHSTを左右両輪に適用し、両モータを逆転させスピントーンを行なう車両などもあり、機器単体の機構とは異なる組合せの妙味が感じられる。

4. 走行装置用HST

図2に車両の走行装置用HSTの回路例を示す。

*平成24年5月22日 原稿受付

**油研工業

(所在地 〒252-1113 綾瀬市上土棚中4-4-34)

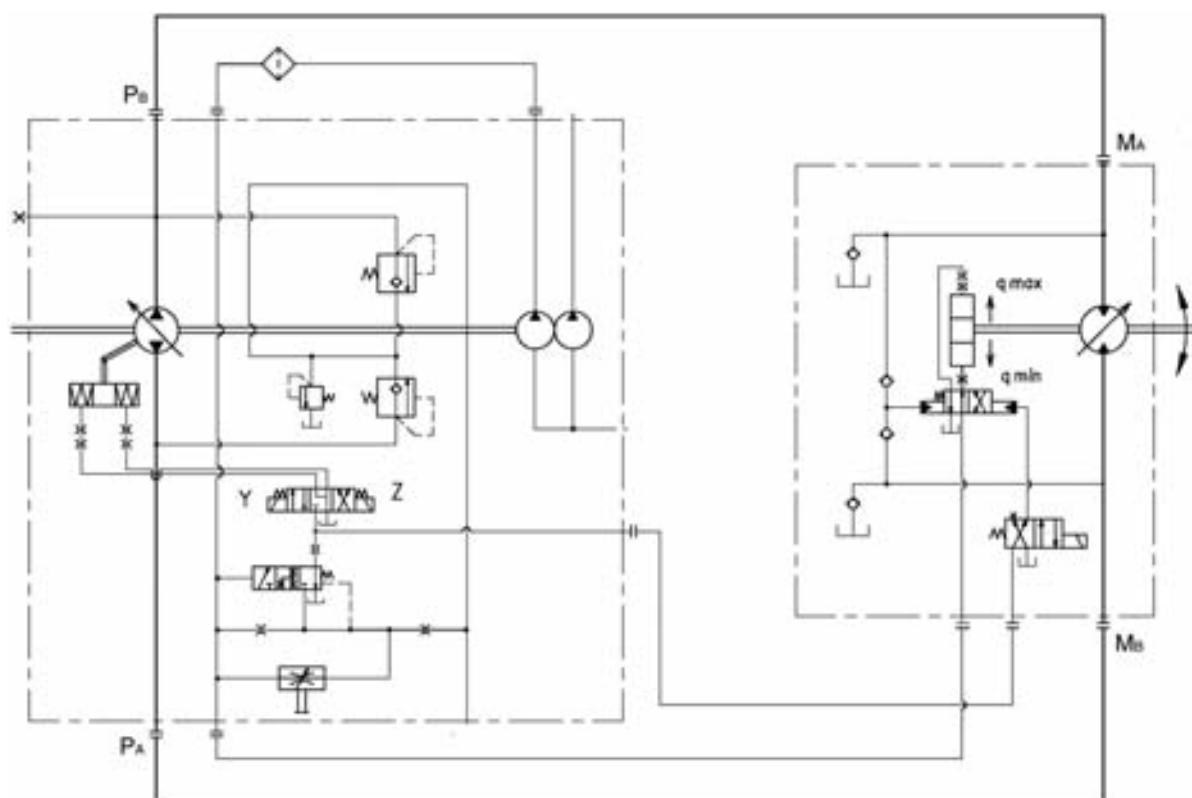


図2 車両走行装置用HST回路

主な構成機器は、左側の可変容量形ポンプと右側の可変容量形モータ、中央部の補給用・作業機用定容量形ポンプ、制御用の弁類である。配管系統は一見複雑であるが、図中の記号 P_A — P_B — M_A — M_B が図1の外周配管に相当する主回路となる。

ポンプはエンジンで駆動され、モータの出力軸は車軸系統を介して車輪に接続される。アクセルペダルを踏込むとエンジンの回転速度が上がり、定容量形ポンプであっても吐出し量が増加するが、図2はアクセル踏み込み量とポンプ斜板角とを連動させて連続的に吐出し量を増加させる方式である。

5. HST用ポンプ・モータ

図3は、HSTに用いられる斜板式アキシャルピストンポンプと斜軸式アキシャルピストンモータの外観である。

ポンプは可変容量形であり、補給用内接ギアポン

プを内蔵している。作業機用ポンプには、外接ギアポンプが用いられ、ピストンポンプの反主軸側に結合される。図3のモータは可変容量形であるが、図2に示す電磁切換弁は搭載していない。

図3のポンプ・モータの最高使用圧力は、概略42～45MPa、ギアポンプは21～25MPaである。ポンプ最高回転速度は $2,500 \sim 3,500 \text{ min}^{-1}$ 、モータは $4,000 \sim 6,000 \text{ min}^{-1}$ である。ホイールローダなどに搭載するHSTでは、モータの回転が減速ギアとリアアクスルを介して車軸に伝達される。高速車両では高速形モータを選定し、高速走行時にモータの可変容量機構を小容量側に切り換えて使用する。

図4はポンプの構造例である。

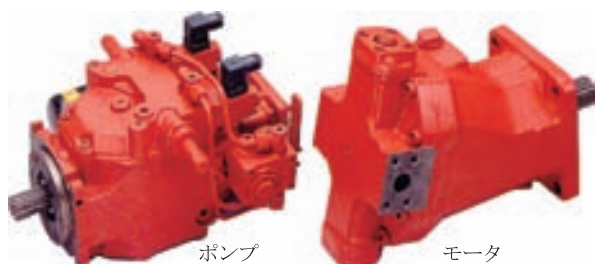


図3 HST用ポンプ・モータの外観例

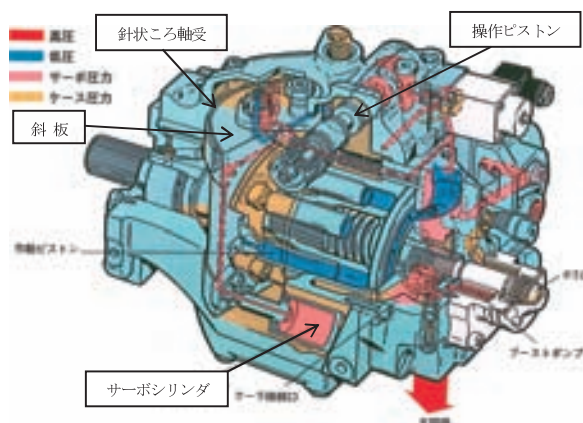


図4 HST用ポンプの構造例

斜板は、丸太を軸方向に切断したような半円形状であり、ハーフ・ログ（丸太）形、クレードル（ゆりかご）形、ピロー（枕）形などと呼ばれる。一般的に、ピストンから受ける推力は斜板背面のボデーとの隙間に高压油を給油して支持するが、図4のように専用の針状ころ軸受を用いる方式もある。図の上から見て右方向に傾いた斜板は、左下部に片方を示した1対のサーボシリンダにより傾転制御される。左方向にも傾く両傾転形である。

図5はモータの構造例であり、教室第8回²⁾の図4に示した2速形モータの詳細断面図と同一のものである。回転方向はシリンダブロックの傾いている方向によって決まる。図の手前側ポートから油が注入されると、シリンダブロックの手前側半分のピストンに油が入り、ピストン室が膨張する方向に推力が作用する。その回転方向分力により左端の主軸が軸端から見て右方向に回転する。この時の油の流れと回転方向は、図の塗りつぶした矢で示される。容量の切換は右下部に矢で示したパイロット油圧の出入によって行なう。

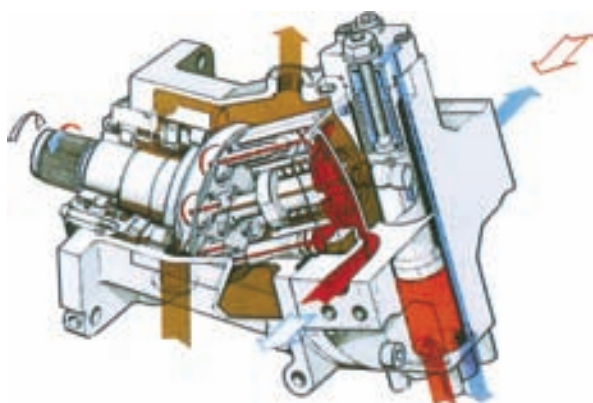


図5 HST用モータの構造例

6. HSTの走行特性

モータの回転速度は、流入油量をモータの押しのけ容積で除した値であるため、モータを可変容量形とすれば幅広い車速範囲が得られる。

一方、ポンプ流量は、ポンプ回転速度と押しのけ容積（斜板傾転角）によって決まる。この関係を利用して良好な走行操作性を得る方式はオートモティブ制御と呼ばれ、ポンプ傾転角は、エンジン回転速度すなわちアクセルペダルの踏込み量、および負荷圧力に応じて連続的に増減する³⁾。

図6はポンプの制御部の説明図である。ポンプ回転速度に比例する補給用ポンプの油の流れ（→印）は、丸印内の絞りを通過し補償弁に導かれる。補償弁開度は、流量に比例する絞り前後の差圧に応じて

変化し、操作ピストンの駆動圧力を変化させ斜板を動かす。電磁切換弁のY、Zは前後進の切換を示す。

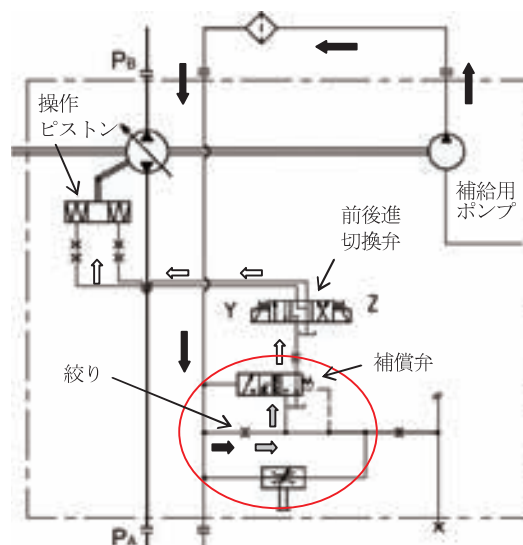


図6 オートモティブ制御回路

また、図2に示すモータ部はシステム圧力制御と呼ばれ、負荷圧力とエンジン回転速度に応じて傾転角が変化する制御方式である。スタート時にモータは最大容量で微速走行し、所定の回転速度に達すると自動的に最小容量となって最高車速が得られる。

7. おわりに

HSTは、油圧ポンプ・モータを組み合わせた変速装置であり、機械的な変速装置と異なる様々な特長を有している。油圧機器内の構造・機構的なおもしろさと共に、流体を介したエネルギー伝達の醍醐味を少しでも感じていただければ幸いである。

参 考 資 料

- 1) 全般：油研工業カタログ
- 2) 大橋：教室第8回油圧モータ，フルードパワーシステム，Vol. 43, No. 5, p. 307 (2012)
- 3) 大橋・橋川・安木：HSTの制御技術，パワーデザイン，Vol. 29, No. 1, p. 18-22 (1991)

[著 者 紹 介]

おお はし あきら
大 橋 彰 君

1972年静岡大学大学院修士課程修了。1972年油研工業入社。主に、油圧ポンプ・モータの開発、営業技術、商品企画、経営企画などの業務に従事。

E-mail：ak.ohashi@yuken.co.jp

教 室

おもしろ空気圧「空気圧システムの合成計算」*

妹 尾 満**

1. 空気圧システムの合成

空気圧システムでは、バルブ、管継手および配管などの複数の空気圧要素が接続され、構成されている。システム全体の流量特性を合成して、1つの機器の流量特性として把握すると流量や圧力降下の計算が簡便に行うことができる。合成は、図1および図2に示すように並列接続と直列接続に分類される。

2. 直列接続の合成

n 個の要素が直列に接続された場合、合成音速コンダクタンス $C[\text{dm}^3/(\text{s} \cdot \text{bar})]$ および合成臨界圧力比 $b[-]$ を式(1)および式(2)に示す。

$$\frac{1}{C^3} = \frac{1}{C_1^3} + \frac{1}{C_2^3} + \cdots + \frac{1}{C_n^3} \quad (1)$$

$$b = 1 - \left\{ \left(\frac{C}{C_1} \right)^2 (1 - b_1) + \left(\frac{C}{C_2} \right)^2 (1 - b_2) + \cdots + \left(\frac{C}{C_n} \right)^2 (1 - b_n) \right\} \quad (2)$$

非圧縮性流体や空気圧システムで圧力降下が小さくて圧縮性が無視できる場合には、式(3)の式が適用される。一般の空気圧システムに適用した場合、圧力降下が大きいため、近似度が劣るので注意が必要である。

$$\frac{1}{C^2} = \frac{1}{C_1^2} + \frac{1}{C_2^2} + \cdots + \frac{1}{C_n^2} \quad (3)$$

式(1)~(3)の合成計算式を用いて、流量特性が $C=100$ 、 $b=0.5$ の複数の機器を直列に接続した場合の合成計算の結果を図3に示す。この図の中で厳密解は、ISO/DIS 6358-3で計算した値である¹⁾。機器1個の音速コンダクタンスを100%として、2個の合成音速コンダクタンスは、80%、3個で70%、4個で62%になる。機器個数が増えると、実際から近似度が劣る傾向にある。

また、流量特性が異なる2個の機器を直列合成した場合の合成計算の結果を図4に示す。図4は、どれも臨界圧力比が $b=0.5$ の機器において音速コンダクタンス $C_1=100$ 一定として、 C_2 の大きさを変化さ

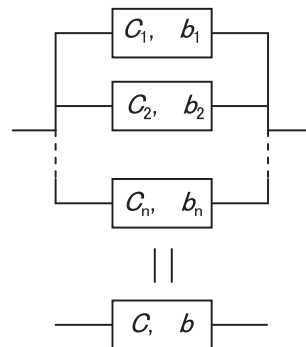


図1 並列接続

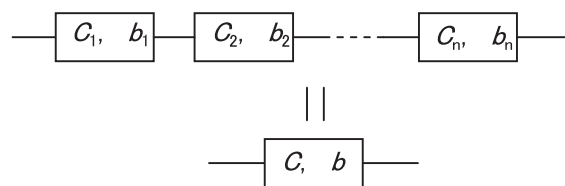


図2 直列接続

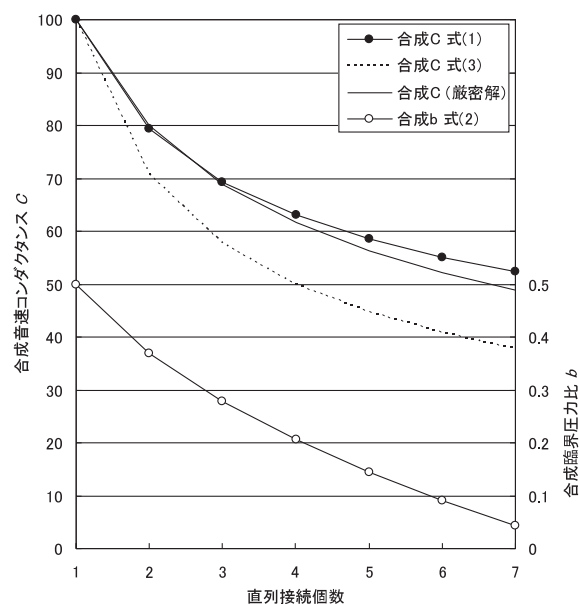


図3 複数の機器を直列接続した合成計算結果

せたときの音速コンダクタンス比 C_1/C_2 と合成音速コンダクタンス C の関係を示す。 C_2 が小さいまたは大きいとき、つまり C_2/C_1 が大きいまたは小さいと

*平成24年8月7日 原稿受付

**SMC株式会社

(所在地 〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台4-2-2)

きには、合成音速コンダクタンス C は、音速コンダクタンスの小さい機器が支配的である。 C_2 が C_1 の2倍以上になると、合成音速コンダクタンス C は、 C_1 とほぼ同じ値に飽和する。

3. 並列接続の合成

n 個の要素が並列に接続された場合、合成音速コンダクタンス C [$\text{dm}^3/(\text{s} \cdot \text{bar})$] および合成臨界圧力比 b [-] を式(4)および式(5)に示す。

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (4)$$

$$b = 1 - \frac{C^2}{\left\{ \frac{C_1}{\sqrt{1-b_1}} + \frac{C_2}{\sqrt{1-b_2}} + \dots + \frac{C_n}{\sqrt{1-b_n}} \right\}^2} \quad (5)$$

式(4)および(5)の合成計算式を用いて、機器を並列に接続した場合の合成計算の結果を図5に示す。

並列接続の合成音速コンダクタンスは、単純加算値である。合成臨界圧力比については、下記の通りである。図5(1)および(2)に示すように、音速コンダクタンスの大小に関わらず、臨界圧力比が同じであれば、合成臨界圧力比も同じである。

図5(3)に示すように、音速コンダクタンスが同じであるが、臨界圧力比が異なる場合、合成臨界圧力比は、ほぼ中間の値となる。

図5(4)および(5)に示すように、音速コンダクタンスも臨界圧力比も異なる場合には、合成臨界圧力比は、音速コンダクタンスの大きい方の値に近くなる。これは、大流量側の機器の流量特性が支配的になることを示している。

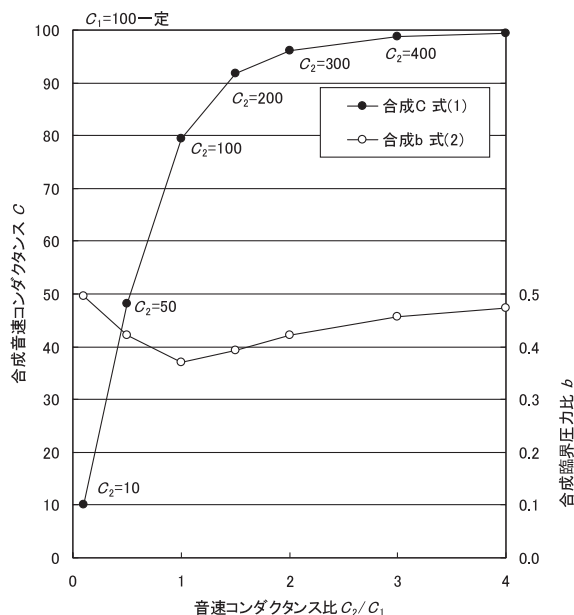


図4 流量特性の異なる2個の機器を直列接続した合成計算結果

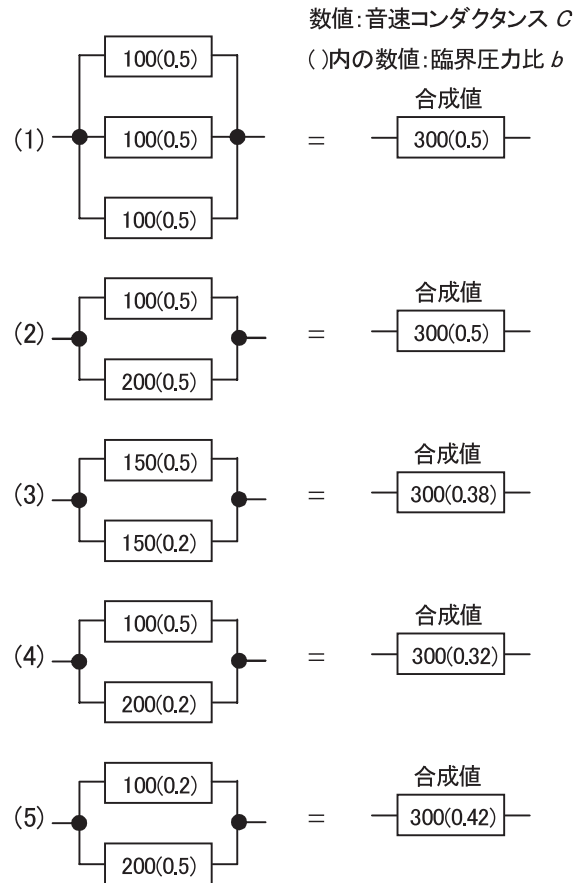


図5 並列接続の合成計算結果

参考文献

- 1) ISO/DIS 6358-3 : Pneumatic Fluid Power—Determination of flow-rate characteristics of components—Part 3 : Methods for calculating steady-state flow-rate characteristics of assemblies (2011)

[著者紹介]

妹尾 満 君



1996年愛媛大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年SMC株式会社入社、現在に至る。空気圧システム解析の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会会員。

教室

入門講座「流体力学」 第2回：ものの見方を変えよう*

高 橋 勉**

1. はじめに

本講座第1回では流体という物体の機械的性質について固体である弾性体と対比しながら学習した。フック弾性体やニュートン流体は物体の機械的性質を簡単な構成方程式で定義した仮想物体である。構成方程式がわかっているならばその物体の変形挙動は計算できることから弾性体も流体も変形・運動挙動が同じように計算できるはずである。しかし、流体は形がなく連続しており、無限に変形可能な物体である。流体の運動、すなわち「流動」は固体の運動に比べて複雑で、また時間的な変化が重要な要素となる。このため流体の「流動」を理解するには固体の力学とは異なる「ものの見方」が必要になる。今回は代表的な「見方」を学習し、「視野」を広げていただきたい。

なお、第1回の宿題とした問題1-5については文末のコラムで解説する。

2. もしも翼があったなら「三次元非定常運動」ができるのに…

質点や剛体の運動を考える場合に運動の自由度の数を考慮することにより問題を簡単化することができる。また、もしその運動が等速直線運動であれば力のつり合いのみを考慮すればよいが、加速運動を行っている場合は慣性力を考慮しなくてはならない。対象とする運動がどのような条件下にあるかを理解することはきわめて重要である。それでは早速、問題から始めよう。

問題2-1：一次元定常運動をする乗り物は？

電車はどのような運動をする乗り物であろうか。運転席を見るとその乗り物の運動の自由度がわかる。電車は線路の上を走る乗り物であり、線路から外れることはない。したがって、電車の運転にハンドル

は必要ない。電車を前方あるいは後方に走らせるための制御装置とブレーキにより電車は運転することができる。線路に沿って前か後ろにしか進めないことから電車は「一次元運動」する乗り物といえる。電車は右左にカーブし山にも地下にも行けるから「三次元運動」だろう、という人もいるかもしれない。しかし、電車の運動方向を決めるのはレールであり、レールに沿って上下左右に移動したとしても所詮はレールの上を行ったり来たりすることしかできず、通過する駅の順番も決められている。どこかの駅をショートカットしてつぎの駅に行くことはできない（レールを飛び越えて運転できないという意味であり快速運転とは異なる）。これより電車の運動の自由度は1であり一次元と見なすことができる。また、電車は駅で停車し、加速して高速で移動することもできる。電車の速度は時々刻々と変化することから「非定常運動」といえる。総合すると、電車は「一次元非定常運動」する乗り物と定義できる。同様の乗り物としてはエレベーターがある。これも上下のみに移動し、任意の階で停止が可能な乗り物である。

自動車の運動はどうであろうか。自動車には電車と同様にアクセルとブレーキがあり、それに加えてハンドルがある。自動車はハンドルにより左右に任意に曲がることができ、加減速も可能な乗り物である。すなわち「二次元非定常運動」をする乗り物である。電車と同様に山にも谷にもいけるので上下にも運動できるが、これは地面が上り下りするためであり、自動車に地面と無関係に上下移動する機能が備わっているわけではないので二次元運動と規定できる。

三次元非定常運動をする代表的な乗り物は「飛行機」である。飛行機は上下左右のいずれにも移動可能であり速度も制御できる。自由度が大きい分だけ操縦も難しい。同様の乗り物に潜水艦がある。鳥や魚は三次元空間を自由に動き回れる生物であり、地面に拘束される二次元移動生物である我々人間には持ち得ない感性があるに違いない。

では問題2-1の「一次元定常運動」する乗り物と一体何だろうか。ハンドルがなく、アクセルもブレーキもない乗り物ということになる。エスカレー

*平成24年9月2日 原稿受付

**長岡技術科学大学工学部

(所在地 〒904-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

タはどうだろう。乗り降りの瞬間には加速が生じるが、その後は一定の速度で一方向に移動する。動く歩道なども同じである。

3. 運動物体を観察する二つの見方

問題2-2：スピード違反の車を摘発する方法は2つに大別される。何と何？

もうすこし乗り物の話を続けよう。一方通行の一車線の道路をいろいろな自動車が行っている。中には制限速度を超えて走っている自動車があるかもしれない。スピード違反をしている車を捕まえるにはどうすればよいだろうか。

【事例1】バックミラーに映る車が突然赤い回転灯を点灯してサイレントを鳴り響かせた。覆面パトカーがスピード違反を摘発した瞬間である。警官はどのようにスピード違反車を見つけたのだろうか。彼らはあらかじめ違反しそうな車に目星を付け、そつと後をつけて車の速度を測定していた。その間、その前後には別の自動車が行っていても脇目も振らず狙った獲物だけを追い続けていたのである。

【事例2】気持ちよく車を走らせていると突然、赤色灯を持った警官が目の前に現れて側道に誘導され、違反切符をわたされた。周囲には同様につかまった車が何台か停まっている。情け容赦なく一網打尽。少し手前の位置にレーダー探知機が設置されていて速度違反の車のナンバーを無線で連絡してきているようである。

苦い思い出が込められた二つの例を示したが、もう少しこの二つを分析してみよう。覆面パトカーは多くの車の中から狙った一台だけを追跡した。これは固体の運動を観察するときの常套手段である。ロケットが発射される映像を見るとき、全員が飛翔するロケットに注目している。あっという間に宇宙に飛び出す様子を目で追いつながらその速さを感じ取る。これに対してレーダーで速度違反の車を監視しているシステムでは道路上の特定の位置を通過する自動車の速度を時々刻々と測定し、違反者がいると報告する。運動する個々の物体を見つめるのではなく、空間上に固定されたある位置を連続的に通過する物体を眺める方法である。

この二つのものの見方はそれぞれ「ラグランジュの見方」と「オイラーの見方」とよばれており、物理現象を観察する基本的な方法である。

ラグランジュの見方を用いて物体の加速度を算出してみよう。先の例に従って一方通行の一車線の道走る自動車の列を考える。ラグランジュの見方で

はその中の一台に注目しその運動を解析する。図1の左図は時刻 t における自動車の列を示している。それぞれの自動車には仮に a, b のように名前を付けてある。今は b の車に注目してみよう。各車はそれぞれ独立の速度で動いているので微小時間 Δt 秒経過後には図1右に示すように位置が変化している。1車線で追い越してできない状況であり、個々の車は一次元非定常運動をしていると見なせる。そこで各車の位置を車の記号と時刻の二変数関数 $x=x(\text{車の記号}, \text{時刻})$ として表すことにする。時刻 t における b の位置は $x=x(b, t)$ のように表すことができる。 Δt 秒後の位置 x' は $x'=x(b, t+\Delta t)$ で表される。車 b の時刻 t における速度は $u(b, t)$ 微小時間の間の移動距離で表される。

$$u(b, t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(b, t+\Delta t) - x(b, t)}{\Delta t} = \frac{\partial x(b, t)}{\partial t} \quad (1)$$

同様に加速度 a は

$$\begin{aligned} a(b, t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{u(b, t+\Delta t) - u(b, t)}{\Delta t} \\ &= \frac{\partial u(b, t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 x(b, t)}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (2)$$

と表される。 x は二変数関数であるが特定の車に注目しているので車の記号 b は定数として扱える。

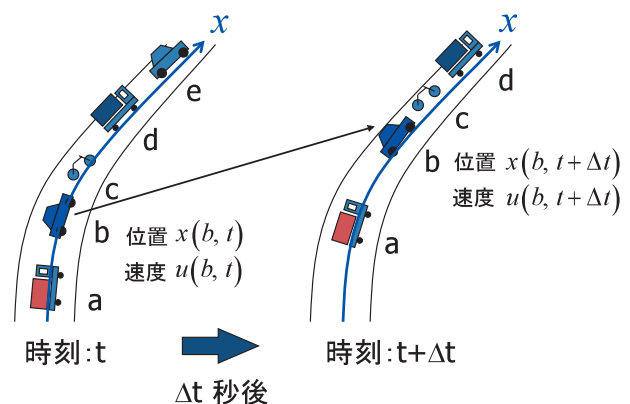


図1 ラグランジュの見方による位置・速度の表記

つぎに、オイラーの見方で加速度を求めよう。オイラーの見方では個々の車を特定・判別はしないので車番号は使えない。そこで、ある時刻 t においてある場所 x に存在する車、というように場所の関数として車を特定する。たとえば図2に示すように時刻 t における車 b の位置を x_1 とすると、この瞬間の b の速度 u と加速度 a はそれぞれ $u(x_1, t)$ 、 $a(x_1, t)$ と表される。 Δt 秒後の車 b の位置 x'_1 は $x'_1 = x_1 + \Delta x_1$ であるから速度は $u(x_1 + \Delta x_1, t + \Delta t)$ となる。これより車 b の加速度は

$$a(x_1, t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{u(x_1 + \Delta x_1, t + \Delta t) - u(x_1, t)}{\Delta t} \quad (3)$$

と表される。速度 u は x_1 と t の二変数関数であるため極限を計算するには一方の変数だけが変化する状況を作り出す必要がある。以下のようにすると計算できるだろう。

$$\begin{aligned} a(x_1, t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{u(x_1 + \Delta x_1, t + \Delta t) - u(x_1 + \Delta x_1, t)}{\Delta t} \\ &\quad + \lim_{\Delta x_1 \rightarrow 0} \frac{u(x_1 + \Delta x_1, t) - u(x_1, t)}{\Delta x_1} \\ &= \frac{\partial u(x_1 + \Delta x_1, t)}{\partial t} + \lim_{\Delta x_1 \rightarrow 0} \frac{u(x_1 + \Delta x_1, t) - u(x_1, t)}{\Delta x_1} \frac{\Delta x_1}{\Delta t} \\ &= \frac{\partial u(x_1 + \Delta x_1, t)}{\partial t} + \frac{\partial u(x_1, t)}{\partial x_1} \frac{\partial x_1}{\partial t} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 Δt をゼロに近づけると Δx_1 もゼロに近づくので無視できる。 $\partial x / \partial t$ は速度 u の定義式である。そして、この式では車 b の位置 x_1 における加速度を計算したが他の位置（車）にも拡張できるので x_1 を x に変更する。すると、任意の位置 x における時刻 t での加速度は以下のように表される。

$$a(x, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} + u(x, t) \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (5)$$

ラグランジュの見方で得られた加速度と比較すると第2項の存在が大きく異なる。

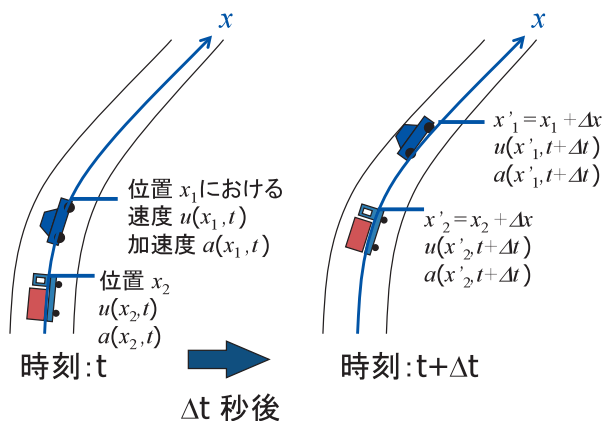


図2 オイラーの見方による速度・加速度の表記

このように、運動する物体を観察する方法としてラグランジュの見方とオイラーの見方があり、それぞれの見方で加速度の表現が変わることがわかった。つぎに、この違いを具体的な事例で確認してみよう。

4. 川の流は定常流動でも水面に浮かぶ小舟は加速運動？

問題2-3：水量が一定の川を小舟が流されている。小舟は川の流と同じ速度で動いているとして、小舟の運動は定常？非定常？

問題を単純化するために水のまさつを無視する。

また、川の流は川幅方向にわたる断面内では同じ速度で流れているとしよう。このような流れ場を一次元流動という。川幅方向にわたる流れの断面積（川幅 $W \times$ 水深 H ）を A とし、その位置での流速を U とすると1秒間にこの断面を流れて流れる水の体積 Q は

$$Q = AU \quad (6)$$

で表される。 Q を体積流量という。いま、水量（流量）が一定であるから、水の速度は川の断面積 A に反比例することがわかる。川の水深が一定であると仮定するならば水の速度は川幅 W に反比例する。

さて、この川で川幅が一定の区間において流れの様子を観察しよう。図3に示すように流れ方向を x とする。 Q は時間的に変化しないので、川岸の x_1 地点で川の流の速度を観察している人にとって流速はいつでも一定に見える。川幅が一定であることから x 方向にわたって流れの速度 U は一定である。流れに乗って移動する小舟は等速運動を行い、加速度はゼロである。川岸から小舟の動きのみを観察する、すなわちラグランジュの見方で観察しても小舟の速度は一定であるから定常運動であり、川岸からオイラーの見方で流れを観察しても定常流れとなる。つまり、川幅が一定ならばどちらの見方でも流れは定常状態といえる。

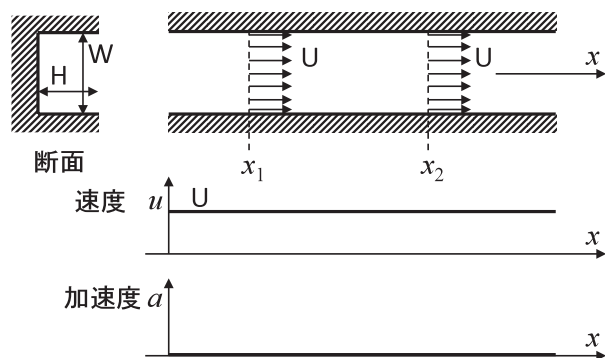


図3 川幅一定区間での小舟の速度、加速度

つぎに、図4のように川幅が流れ方向に向かって狭くなっている区間について考える。川幅は距離に比例して狭くなる。このとき川幅 W は以下のように表される。

$$W = W_0 - Cx \quad (7)$$

(C は定数。ただし、 $W > 0$ であるから $x < W_0 / C$)

このときの流速 u は

$$u(x) = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{H(W_0 - Cx)} \quad (8)$$

となり流れ方向に向かって流速は増加する。流速の増加率、すなわち小舟の加速度 a は

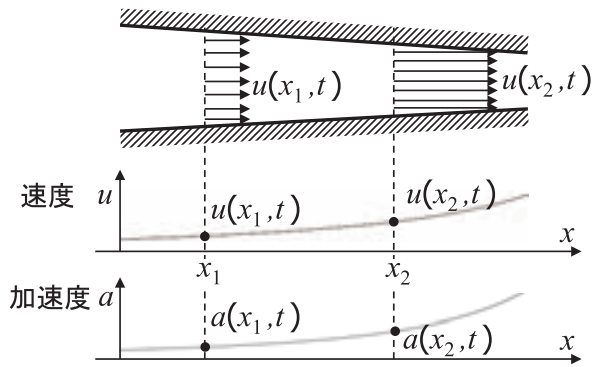


図4 川幅縮小区間での小舟の速度・加速度

$$a(x) = \frac{du(x)}{dt} = \frac{du}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{Q^2 C}{H^2 (W_0 - Cx)^3} \quad (9)$$

となる。川幅が変化しても川のある位置 x_1 の流速は時間に対して変化しないので川岸から流れだけを見ている人には定常流にみえる。一方、小舟の動きだけを見ている人にとっては加速しているようにみえる。オイラーの見方による加速度の式(5)の右辺第1項は流れの時間的な変化を表し、第2項は同じ瞬間でも異なる場所で速度に変化がある場合に生じる加速度を表している。

水や空気は連続しており、その中の一部分だけを取り出して独立に検討することはしない。つまり、流体力学はオイラーの見方になって流れ場を解析することが通例となっている。では、図4に示した川幅が変化している区間の流れ場は定常、非定常のいずれとよぶべきであろうか。流体力学ではこのような場合も通常は定常流動とよぶ。しかし、もし自身が図4の流れ場を小舟に乗って川下りをしていたとすると急流下りさながらの加速を感じるであろう。定常流動だ、といわれても信じられないかもしれない。そこでこのような流れ場はオイラー的には定常でもラグランジュ的には非定常な流れ場と表現する。流れの中に存在する微粒子の運動を検討する場合や、変形履歴が流体の性質に影響を与えるような流体（前回説明した変形の状態をある時間記憶する粘弾性流体など）の流れを検討する場合にはラグランジュの見方が重要なこともある。

加速度ひとつを例に挙げても見方によって大きな違いが出るのが「流動」である。流れの中のある一点を見続けるのか、流れに乗って移動しながら観察するのか、状況に合わせて見方を変えると複雑な「流動」現象も簡単に理解できることがある。対象となる流れを頭の中でイメージできるようになると流体力学が楽しくなる。川下りの例を参考に視点を切り替えて観察するイメージトレーニングをしてみたい。将来、難しい流れの問題に対峙す

る際に役立つはずである。

トピック：流体を引っ張って延ばそう

図4に示したように幅が次第に狭くなる川では流れ方向に向かって流速が高くなる。ある瞬間に川の水に正方形の領域を考えると、この領域は下流に行くほど細長く引き延ばされるように変形する。このような流れ場を伸張流動という。図4の流れ場では下流に向かって流速が急激に増加するため、流体が引っ張って延ばされる変形速度（これを伸張速度といい流動方向の速度増加率 $\partial u / \partial x$ で定義される）も下流に向かって増加する。

前回の宿題について考えてみよう。

問題1-5：流体の伸張流動特性を測りたい。つかみ所のない流体を引っ張って延ばすにはどうしたらよいだろう？

伸張流動特性を調べるためには伸張速度が一定となる流れ場を作る必要がある。図4の流路では伸張速度は一定とならない。図5に示すように流路の幅が二次曲線で縮小するようにすると伸張速度はこの区間で一定とすることができ。つかんで引っ張ることができないドロドロの液体であってもこのような流路を用いれば所定の伸張速度で引き延ばすことが可能となる。この例の他にも伸張速度が一定となる流れ場を作り出す方法が検討されている。興味があれば調べてみていただきたい。

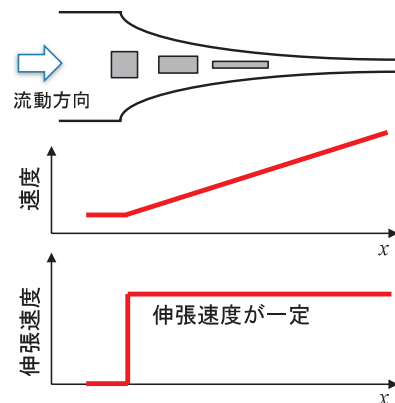


図5 伸張速度が一定となる二次元流路

[著 者 紹 介]

たか はし
高 橋つとむ
勉 君

1989年東京理科大学大学院理工学研究科
博士後期課程修了。同大学助手、長岡技術
科学大学工学部助手、助教授、准教授を経
て、2011年同大学工学部教授、現在に至る。
複雑流体力学、レオ・オブティクス、流体
関連振動の研究に従事。日本機械学会、日
本レオロジー学会などの会員。工学博士。

E-mail : ttaka@nagaokaut.ac.jp

コーヒーブレイク

特 許 よ も や ま 話

木 原 和 幸

特許を見ましょう。一昔前は特許文献を入手するのは有料でした。しかし、現在は公開されている特許はネット上で閲覧することができ、かつ特許文献を無料でダウンロードすることができます。ただし、特許の出願番号あるいは公開番号がわからないとどうしようということになりますが、ネット上に「特許電子図書館」という公のものががあります。ここでは、キーワード入力で検索することもできます。勿論、FIとかFタームという分類から検索する方法もあります。しかし、その方法は知識のある方でないと無理でしょう。しかし、前述しているようにキーワードで検索すれば初めての方でも検索することができます。ただし、キーワードの検索は古い文献には対応していません。

特許文献を閲覧しましょう。特許電子図書館の最初のページで「特許・実用新案検索」をしてください。つぎのページに12の選択項目が表示されます。3つ目の項目についてのみ簡単に紹介します。

③公報テキスト検索

書誌的事項・要約・請求の範囲のキーワード、分類(FI・IPC)などから特許・実用新案の公報を検索できます。

たとえば、「検索項目選択」で「公報全文」を選択し、キーワードとして3つ入力「ポンプ」「騒音」「シヨベル」(3行への入力)すると、1,420件ヒットします。1,000件以上は一覧表示ができません。「ポンプ」「低騒音」「シヨベル」とすると272件のヒットとなります。表示できます。キーワードを増やして絞り込む、発明者を選択する、出願者(一般的には会社)を選択する等、いろいろな方法が可能となっています。

なお、特許電子図書館の最初のページは下記となっています。

<http://www.ipdl.inpit.go.jp/homepg.ipdl>

今回は特許文献の簡単な見つけ方を紹介しました。分類等を含めた詳細な紹介は別途行う予定です。

研究室紹介

東京都市大学高機能機械制御研究室*

佐川 祐貴**, 鈴木 勝正***

1. 東京都市大学の紹介

創立80周年目である2009年、武蔵工業大学は東京都市大学に校名を変更し、総合大学になりました。工学部と知識工学部のある世田谷キャンパス、環境情報学部のある横浜キャンパス、都市生活学部と人間科学部のある等々力キャンパスの3つのキャンパスで構成されます。

私達、工学部のある世田谷キャンパスは東京と神奈川の境界を流れる多摩川の河畔に立地し、東京23区内の私立理工系キャンパスでは最大規模の面積を誇ります。また緑の多い住宅街に囲まれているため、落ち着いた雰囲気の中で勉学に励むことができます。自由が丘や、渋谷、恵比寿、新宿、六本木などの都市部へのアクセスも便利です。

2. 研究室の紹介

工学部機械システム工学科にある、高機能機械制御研究室は2つの分野に分かれています。1つは鈴木教授の油圧関連分野、もう1つは野中准教授のロボットカー関連分野です。



図1 研究室の風景

私達の油圧関連分野では、平成24年度のメンバーは博士前期課程が2名、学部生が9名です。また、企業の共同研究者が2名です。図1には研究室の風景を載せます。

研究室の雰囲気は落ち着きがあり、全員熱心に研究に取り組んでおります。このような落ち着きのある研究室の雰囲気は学生の自主性が尊重され、学生自身で研究計画を立てて取り組んでいるからです。

週に2度のゼミでは油圧に関する英語勉強会や企業の方に油圧機器に関する講義をしていただいております。

3. 現在の研究内容

3.1 油圧シリンダを用いた6自由度パラレルリンク機構の円軌道追従制御

現在パラレルリンク機構はアミューズメントパークの疑似体験アトラクション、車や航空機のシミュレーターなどで利用されており、私達はこのパラレルリンク機構の特性を調べ、制御性能の向上を目指しております。

図2がパラレルリンク機構の実験装置の写真です。パラレルリンク機構は基盤となるベースプラットフォームと、6自由度の移動、回転をするエンドエフェクタとの間を6つのシリンダでつないだ構造をしており、その6つのシリンダを独立に動かすことでエンドエフェクタの6自由度運動を可能にしています。6つのシリンダを利用することで、高精度、高剛性を可能にしています。この実験機を動かす手順として、まずPCに目標値を入力し、サーボアンプで増幅とディザ信号を加え、サーボ弁へ出力します。サーボ弁の流量を制御し、リンクを動作させます。リンクの長さをポテンシオメーターで検出して、PCにフィードバックします。サーボアンプで加えているディザ電流はサーボ弁にあるスプールや油圧シリンダの固着を防ぐために使用されます。

今回は、P制御を用いて円軌道追従実験を行い、ディザの影響を調べました。図3はディザを加えない場合、図4は3mAのディザ電流を加えた場合のエンドエフェクタの軌跡です。図5と図6には図3と図4に対応するそれぞれのリンク長さを示します。

*平成24年6月5日 原稿受付

**東京都市大学大学院・工学研究科・博士前期課程
(所在地 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

***東京都市大学・工学部

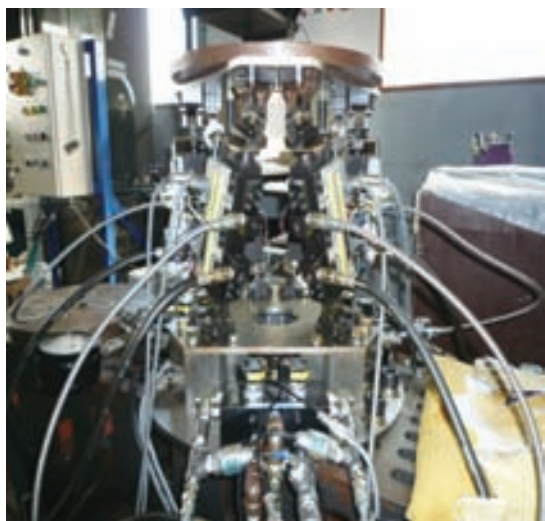


図2 パラレルリンク機構の実験装置

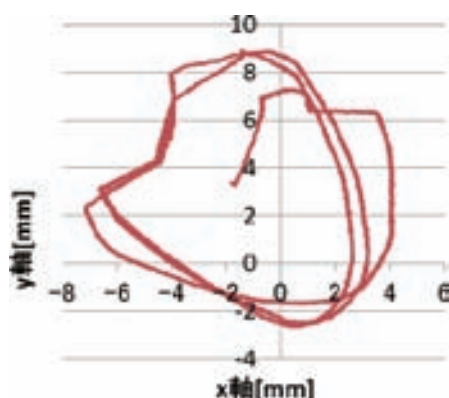


図3 ディザを加えない場合の円軌道追従

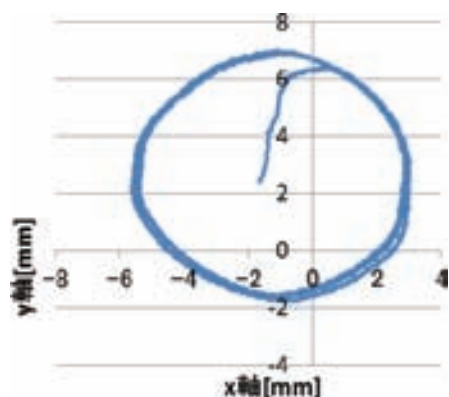


図4 3mAのディザを加えた場合の円軌道追従

図3, 図4より, 違いが一目瞭然です. 図3ではディザを加えないため, 摩擦によって滑らかな動きができず, 再現性も見られません. また, ディザ電流の振幅を3mA以上に変化させても軌道に大きな変化は見られないものの, 5mA以上になるとサーボ弁とシリンダから振動音が発生しました. 図5と図6を比較すると, 図5はリンクの動作していない部分が見られ, 再現性もありますが, 図6はそれ

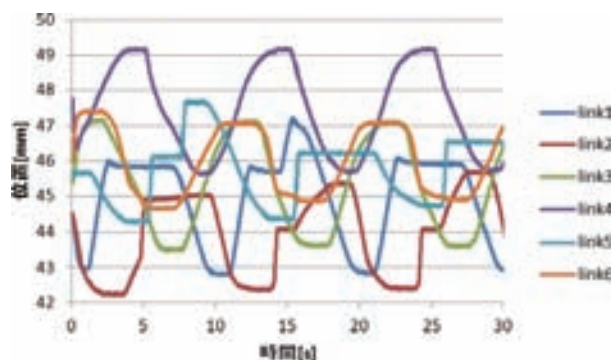


図5 ディザを加えない場合のリンク長さの変化

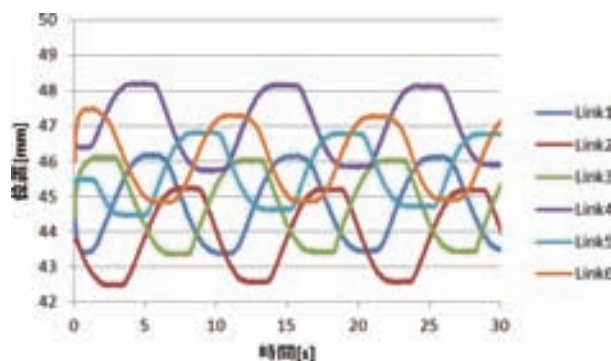


図6 3mAのディザを加えた場合のリンク長さの変化

らが改善されています. これらの結果から, ディザ電流が小さいと摩擦の影響で追従性が低下し, 大きいと装置に負担がかかることがわかりました.

3.2 アキュムレータを用いたアイドリングストップ方式油圧源の省エネ

近年環境破壊や電力不足が懸念されており, さまざまな分野において消費電力を抑えることが求められています. このことは油圧分野も重要です. そこで本研究室では, 油圧源にアキュムレータと圧力スイッチを用いてポンプ駆動用電動機のアイドリングストップ運転を行い, 消費電力を抑えることを研究しています.

実験は単純化した負荷回路に間欠的に作動油を供給する場合について, アキュムレータ付アイドリングストップ方式油圧源 (以下ACC油圧源) と, インバータ制御式油圧源, 可変容量形油圧源の効率の比較を行いました. その結果, ACC油圧源の省エネルギー効果がもっとも優れていることを実証しました. またACC油圧源においてアキュムレータの容積, 窒素封入圧力, 圧力スイッチの設定が効率にどのような影響を及ぼすかも調査しました. 現在は, ポンプ再起動時における電動機の過大な消費電力を抑えるために, 油圧アシストを用いる方法を提案しています. これは油圧と電気によるハイブリッド方式で, ポンプ再起動時のピーク電力を抑えることが

できます。またガソリンエンジンを油圧源に用いる場合についても油圧アシストによるスムーズな再起動を行う、アイドリングストップ運転の実現を目指します。また、アキュムレータを含む管路内の圧力変動を解析するための計算ツールの開発も並行して行っています。図7にはアキュムレータ付アイドリングストップ方式油圧源の実験装置を示します。

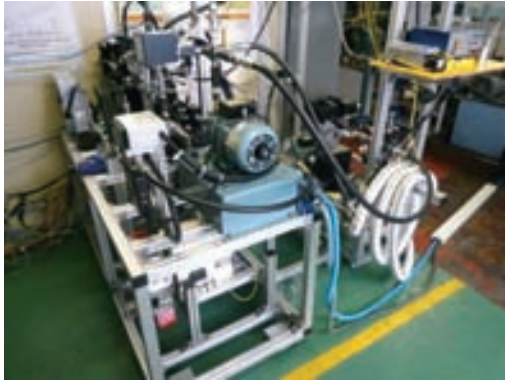


図7 アキュムレータ付アイドリングストップ方式油圧源の実験装置

3.3 水圧シリンダ駆動系の制御

建設機械、プレス機などさまざまな機械が油圧で駆動されています。しかし、油圧駆動は漏油、火災による環境汚染問題、また石油を初めとする化石燃料の枯渇問題が常に付随しています。そうした油圧駆動に対して「水道水」を用いた水圧駆動は長い歴史の中で身近にあり、高い環境調和性を有します。

一方で、水圧駆動には潤滑、水質管理の難しさの問題があります。そのため、私達の研究では水圧機器を制御し、水圧の特性の知識を深めることを目的としています。主な実験としてシリンダ位置のステップ応答、周波数応答実験を行っており、P、PI、PID制御法などを用いて調査します。今後は、ロードセルを用いてシリンダの力の制御についても調べる予定です。図8に水圧システムの実験機を示します。

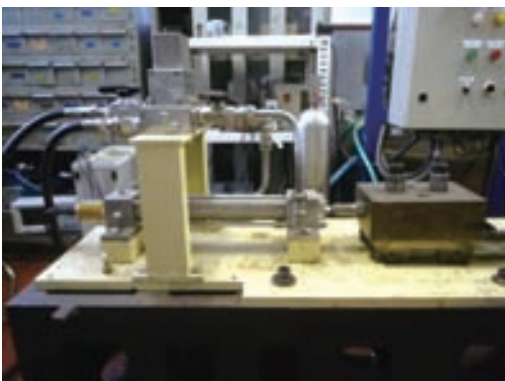


図8 水圧システムの実験装置

3.4 パワーショベルの自動運転と振動抑制

通常、パワーショベルは『悪所を均す』ことを目的として使用します。そのため、予期せぬ振動により、作業従事者の事故に繋がる恐れがあります。本研究においては、動作時に発生する振動を抑制して、信頼度の高い制御を行うことを目的とします。

本研究では、市販のパワーショベルを用い、バケット・アーム・ブームの各油圧シリンダをフィードバック制御により駆動できるように改造しています。各油圧シリンダにはポテンシオメーターが設置されており、油圧シリンダの位置を測定することができます。さらに制御にコンピュータを用いることで、制御結果の記録を可能にしています。図9にはパワーショベルの実験機を示します。



図9 パワーショベルの実験機

[著 者 紹 介]

さ がわ ゆう き
佐 川 祐 貴 君



東京都市大学大学院・工学研究科・機械システム工学専攻・博士前期課程学生。油圧シリンダを用いた6自由度パラレルリンク機構の円軌道追従制御の研究に従事。

[著 者 紹 介]

すず き かつ まさ
鈴 木 勝 正 君

1975年 東京工業大学大学院・機械工学専攻・博士課程・満期退学。現在：東京都市大学・機械システム工学科・教授。日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会などの会員。

会 告

資料一覧表

価格は、(社)日本フルードパワーシステム学会事務局までお問い合わせください。

資 料 名	発行年月
平成元年春季油空圧講演会講演論文集	元年 5 月
平成元年秋季油空圧講演会講演論文集	元年11月
平成2年秋季油空圧講演会講演論文集	2 年11月
平成3年秋季油空圧講演会講演論文集	3 年11月
平成4年春季油空圧講演会講演論文集	4 年 5 月
平成4年秋季油空圧講演会講演論文集	4 年10月
平成5年春季油空圧講演会講演論文集	5 年 5 月
平成5年秋季油空圧講演会講演論文集	5 年11月
平成6年秋季油空圧講演会講演論文集	6 年10月
平成7年秋季油空圧講演会講演論文集	7 年11月
平成8年春季油空圧講演会講演論文集	8 年 5 月
平成8年秋季油空圧講演会講演論文集	8 年10月
平成9年春季油空圧講演会講演論文集	9 年 5 月
平成10年春季油空圧講演会講演論文集	10 年 5 月
平成10年秋季油空圧講演会講演論文集	10 年11月
平成11年秋季フルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	11 年10月
平成12年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	12 年10月
平成13年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	13 年 5 月
平成13年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	13 年11月
平成14年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	14 年 5 月
平成14年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	14 年 6 月
平成15年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	15 年 5 月
平成16年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	16 年 5 月
平成16年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	16 年11月
平成17年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	17 年 5 月
平成17年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17 年 8 月
平成18年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	18 年 5 月
平成18年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	18 年11月
平成19年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	19 年 5 月
平成19年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	19 年11月
平成20年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17 年 4 月
平成20年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	20 年 5 月
平成21年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	21 年 6 月
平成21年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	21 年11月
平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	22 年 5 月
平成22年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	22 年12月
平成23年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	23 年 5 月
平成24年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	24 年 5 月
平成11年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	11 年10月
平成14年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	14 年 6 月
平成17年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17 年 8 月
平成20年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17 年 4 月

平成23年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ国際見本市論文集	23年7月
フォーラム'91「賢い電子油圧制御をいかに実現するか」	3年7月
フォーラム'92「ここまできた電子油空圧制御システム」	4年7月
フォーラム'94「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題 その1」	6年7月
フォーラム'95「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題 その2」	7年7月
フォーラム'96「油空圧技術を支えるトライボロジー」	8年7月
フォーラム'97「21世紀を見つめた新技術開発」	9年7月
フォーラム'98「オフロードビーグル用走行装置の動向」	10年7月
フォーラム'99「技術開発におけるトラブル事例」	11年7月
フォーラム2000「油空圧機器の省エネルギー化はこれだ！」	12年7月
フォーラム2001「自動車における最新油空圧技術の動向」	13年7月
フォーラム2002「電動かフルードか」	14年8月
フォーラム2003「電動かフルードかⅡ」	15年5月
フォーラム2003「最近の緩衝・制振・免振技術」	16年5月
オータムセミナー「油空圧のセンシング技術」	元年10月
オータムセミナー「メカトロニクス関連センサ」	2年10月
オータムセミナー「油空圧を支える解析技術」	4年10月
オータムセミナー「油圧機器・システムにおける振動をいかに克服するか」	5年10月
オータムセミナー「油空圧制御と高速インターフェース技術の融合」	6年11月
オータムセミナー「油空圧におけるシミュレーション技術の現状と課題」	7年10月
オータムセミナー「最新制御理論の超活用法（油空圧システムとロバスト制御の融合）」	8年9月
オータムセミナー2000「環境適合技術の動向」	12年9月
オータムセミナー2001「フルイドパワーシステムに用いられる制御技術の動向」	13年9月
オータムセミナー2003「フルードパワーと環境・リサイクル」	15年10月
オータムセミナー2004「食品機械におけるフルードパワーの利用と課題」	16年10月
オータムセミナー2005「レスキューにおけるフルードパワーシステム」	17年10月
オータムセミナー2006「生活に密着したフルードパワー」	18年10月
オータムセミナー2007「鉄道におけるフルードパワー技術」	資料は『油空圧技術』Vol. 49 No. 4
オータムセミナー2008「フルードパワーシステムと環境・省エネルギー」	20年10月
オータムセミナー2009「フルードパワーシステムのためのlinux開催環境」	21年10月
オータムセミナー2010「BOPビジネスの可能性～CSRとビジネスの両立～」	22年11月
オータムセミナー2011「パワートレインにおけるフルードパワー技術」	23年11月
ウインターセミナー「油空圧システムの低騒音化のために」	2年2月
ウインターセミナー「知っておきたい新しいアクチュエータ」	3年2月
ウインターセミナー「200X年における電子油空圧はどうあるべきか Part 2」	4年2月
ウインターセミナー「新素材の油空圧への応用」	5年2月
ウインターセミナー「空気圧の新たな可能性を求めて」	6年2月
ウインターセミナー「人と環境に優しい油空圧—油空圧機器・システムの低騒音化技術—」	7年2月
ウインターセミナー「油圧システムの高圧化に関する現状と将来」	8年2月
ウインターセミナー「フルイドパワーにおける流体の役割」	9年2月
ウインターセミナー「ER流体の可能性とその油空圧技術への応用」	10年1月
ウインターセミナー「ユーザは語る・自動化機器における駆動方式の現状と将来像」	11年1月
ウインターセミナー「省エネ、環境のためのセンシング」	13年1月
ウインターセミナー「油空圧機器・システムにおける省エネルギー化の方法」	14年1月
ウインターセミナー「油空圧機器に係わる加工技術～共存する油空圧機器と加工技術～」	15年1月
ウインターセミナー「メンテナンスエンジニアリング—ランニングコストを安く—」	16年1月
ウインターセミナー「医療・福祉におけるフルードパワーシステムの応用動向」	17年1月
ウインターセミナー「機械システムの安全性」	18年2月

ウインターセミナー「家庭の中のフルードパワー」	19年 2 月
ウインターセミナー「航空機とロケットへの応用」	20年 2 月
ウインターセミナー「海と船のフルードパワー」 資料は『学会誌』 Vol. 39 No. 5	21年 2 月
ウインターセミナー「フルードパワー機器・システムの小型化」 資料は『学会誌』 Vol. 39 No. 5	22年 2 月
ウインターセミナー「福祉・医療環境における空気圧応用の現状と問題」	23年 2 月
ウインターセミナー「圧縮空気エネルギーの有効利用技術」	24年 2 月
教育講座「マイコン制御講座」(大学上級コース)	元年 8 月
教育講座「現代制御理論講座」(大学上級コース)	元年10月
教育講座「マイコン制御講座」(大学上級コース)	2 年 8 月
教育講座「トライボロジー講座」(大学上級コース)	3 年 8 月
教育講座「油空圧における鑄造技術講座」	5 年10月
教育講座「空気圧システム入門」	10年 9 月
教育講座「空気圧システム入門」	11年 6 月
教育講座「空気圧システム入門」	13年 6 月
教育講座「トライボロジー講座」	14年 9 月
教育講座「空気圧システム入門」	15年 5 月
教育講座「空気圧システムの基礎」	15年 5 月
第 1 回油空圧国際シンポジウム論文集	2 年 1 月
第 2 回油空圧国際シンポジウム論文集	5 年 9 月
第 3 回油空圧国際シンポジウム論文集	8 年11月
第 4 回油空圧国際シンポジウム論文集	11年11月
第 5 回油空圧国際シンポジウム論文集	14年11月
第 6 回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (CD-ROM)	17年11月
第 7 回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (冊子, CD-ROM)	20年 9 月
第 8 回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (冊子, CD-ROM)	23年 9 月
学会創立20周年記念出版「油空圧の進歩100人の証言」	2 年 5 月
学会創立30周年記念出版「アドバンスドフルードパワー技術の基礎と応用」	15年 4 月
分冊販売 油圧駆動の世界—油圧ならこうする—	
空気圧システム入門	
水圧駆動テキストブック	
日本フルードパワーシステム学会創立40周年出版	23年 4 月
分冊販売 油圧システムのモデリングと解析手法	
Webシミュレーション解説	
アクアドライブ技術の進展	

フルードパワーシステム 総目次 (第43巻)

	号	通し頁		号	通し頁
【挨拶】			未来に向けた省エネルギー技術		
年頭に当たり	…横田 眞一	1 9	「未来に向けた省エネルギー技術」発行にあたって	…内堀 晃彦	4 200
会長就任にあたって	…香川 利春	4 199	油圧システムの省エネルギー化技術の動向と展望	…田中 豊	4 201
【解説】			空気圧の省エネルギー技術と評価	…香川 利春	4 206
特集「解析技術」			価値	…蔡 茂林	4 209
「解析技術」の発行にあたって	…柳田 秀記	1 10	水圧技術の省エネルギー化	…伊藤 和寿	4 209
オリフィス流れの計測融合シミュレーション	…川嶋 健嗣	1 11	油圧作動油の省エネルギー効果の評価方法—配管圧力損失の逐次計算法—	…小曾戸 博	4 212
油圧機器内の流れ解析 (スプール弁内部の流れ解析)	…中尾 光博	1 14	管路損失の低減法	…大塚 正和	4 218
溶解気体の分離を考慮したキャビテーション流れ解析	…井小萩利明	1 17	スクリーコンプレッサシステムの最新制御	…築地 徹浩	4 221
油圧系のモデリングとHILS	…落合 直哉	1 20	アキュムレータを用いたアイドリングストップ式油圧源の省エネルギー	…河合 仁	4 224
油圧機器・回路設計に用いられるCAE	…眞田 一志	1 23	再生可能エネルギーの普及と需要家の参画—東京工業大学先進エネルギー国際研究センターの取り組みを事例に—	…鈴木 勝正	4 227
ダンブトラック開発への解析主導型設計の適用	…桜井 康雄	1 26		…大田 真平	4 227
自動車における油圧解析技術	…佐藤 隆之	1 30		…杉村 健	4 227
	…樋口 武史	1 30			
	…石原 和典	1 30			
	…岩城 毅	1 30			
	…平工 賢二	1 30			
特集「国際シンポジウム2011」			基礎研究の最新動向		
実行委員長からのメッセージ—組での国際シンポジウムを開催して	…横田 眞一	2 69	「基礎研究の最新動向」発行にあたって	…眞田 一志	5 267
第8回フルードパワー国際シンポジウムの全体概要	…田中 豊	2 70	各種油圧ポンプのしゅう動部の温度計測 (実作動条件下の実機ピストンポンプ、歯車ポンプ、ベーンポンプを対象として)	…風間 俊治	5 268
プログラム・セッションの概要	…早川 恭弘	2 74	摩擦を考慮した断熱管内空気定常流量特性の近似計算	…川上 幸男	5 271
JFPS Best Student Paper Award	…桜井 康雄	2 80	ヘルムホルツ形油圧動吸振器の減衰特性	…中野 和夫	5 274
特別招待講演の概要	…佐藤 恭一	2 82	フルードパワーアクチュエータの動摩擦特性と数学モデル	…一柳 隆義	5 277
Fluid Power 2011「医療・福祉」セッションの講演	…吉田 和弘	2 87	ゴムベローズを用いた高減衰空気圧ゴム人工筋のモデル化とシミュレーション	…柳田 秀記	5 280
「ロボティクス・メカトロニクス」セッションの講演 (基調講演を含む)	…赤木 徹也	2 92	電界共役流体に発生する流動のモデリング	…加藤 友規	5 283
「機能性流体」セッションの講演 (基調講演を含む)	…則次 俊郎	2 96	超精密工作機械用の流体駆動スピード	…竹村研治郎	5 286
「水圧」セッションの講演	…築地 徹浩	2 101		…中尾 陽一	5 286
フルードパワーに関する第8回JFPS国際シンポジウムの感想と印象記	…北川 能	2 106			
参加学生から見た第8回JFPS国際シンポジウム	…Andrew Schenk (翻訳 近藤 瞳)	2 110			
参加学生から見た今回の国際シンポジウム	…山口 彰浩	2 113			
参加企業から見た今回の国際シンポジウム—ポンプそして人生(IV)—	…坂間 清子	2 116			
フルードパワーシステムと地震対策	…小曾戸 博	2 116			
「フルードパワーシステムと地震対策」発行にあたって	…金 俊完	3 141			
フルードパワー技術を用いた免震・制震について	…露木 保男	3 142			
高層ビル用制震オイルダンパ	…栗野 治彦	3 146			
阿佐ヶ谷プロジェクト—3次元免震建物の開発と建設—	…高橋 治	3 149			
鉄道車両用地震時脱線防止対策左右動ダンパ	…鈴木 貢	3 156			
遠隔操作建設ロボット	…山田 宏尚	3 159			
危険建物内への迅速・安全なアクセスを目指した流体ロープウェイ	…塚越 秀行	3 162			
	…北川 能	3 162			
			フルードパワーにおける組み込みシステム		
			「フルードパワーにおける組み込みシステム」発行にあたって	…吉満 俊拓	6 343
			組み込みシステムがフルードパワーにもたらすこと	…小山 紀	6 344
			歩行リハビリ訓練用高機能靴	…早川 恭弘	6 347
			ショックレス切換弁	…北村 修	6 350
			電子制御ミキサ車	…川島 茂	6 353
			スマートポジショナ	…渡邊 崇	6 356
			デジタル電空レギュレーターマイコン搭載により高機能化を実現—	…吉田 享平	6 359
			【解説】		
			電気油圧サーボ式ダウンコイラ	…桑野 博明	4 230
			入門者向き実習講座「油空圧技術」	…眞田 一志	5 290
			阿佐ヶ谷プロジェクト—3次元免震建物の地震観測 (前編)	…高橋 治	5 293
			油圧回路設計・動特性解析用シミュレーションパッケージOHC-Simの現状	…桜井 康雄	6 362
			阿佐ヶ谷プロジェクト—3次元免震建物の地震観測 (後編)	…高橋 治	6 365

【ニュース】

日本フルードパワーシステム学会国際シンポジウム2014紹介	…香川 利春	2	120
日中若手研究者交流と特別講演会の報告	…田中 豊	2	122
中国機械工程学会流体伝動と制御分會第五期委員会が発足	…蕭 欣志	2	124

【FPIC会議報告】

FPM2011におけるフルードパワー技術研究動向	…金 俊完	1	33
日本機械学会2011年度年次大会におけるフルードパワー技術の研究について	…小藪栄太郎	1	36
第29回日本ロボット学会学術講演会におけるフルードパワー技術研究	…吉田 和弘	1	38
山梨講演会2011におけるフルードパワー技術研究動向	…田中 豊	2	125
SICE Annual Conference 2011 (OS: FLUCOM-J) および第12回流体計測制御シンポジウムにおけるフルードパワー技術研究動向	…小山 紀	2	128
ICMT2011におけるフルードパワー技術関連の研究	…嚴 祥仁	3	165
FLUCOME2011におけるフルードパワー技術研究動向 FLUCOME2011 in TAIWAN	…香川 利春	3	168
第12回日本機械学会機素潤滑設計部門講演会におけるフルードパワー技術研究	…吉田 和弘	5	300
第24回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウムにおけるフルードパワー技術研究動向	…嚴 祥仁	5	302
IFK2012参加記	…加藤 友規	5	305
ROBOMECH2012におけるフルードパワー技術研究動向	…金 俊完	6	370

【教室（連載）】

おもしろ油圧機構 第5回 流量制御弁	…大橋 彰	1	40
おもしろ油圧機構 第6回 方向制御弁	…大橋 彰	3	171
おもしろ油圧機構 第7回 電気油圧サーボ弁	…大橋 彰	4	234
おもしろ油圧機構 第8回 油圧モータ	…大橋 彰	5	307
おもしろ油圧機構 第9回 ハイドロスタティックトランスミッション	…大橋 彰	6	373
おもしろ空気圧「ショックアブソーバ」	…大川 滋	1	43
おもしろ空気圧「高分子膜式エアドライヤ」	…桑名 伸好	3	174
おもしろ空気圧「空気圧システムの結露」	…張 護平	4	237
おもしろ空気圧「空気圧機器の流量特性」	…妹尾 満	5	312
おもしろ空気圧「空気圧システムの合成計算」	…妹尾 満	6	376
入門講座「流体力学」第1回：覆水盆に返らず	…高橋 勉	5	314
入門講座「流体力学」第2回：もの見方を変えよう	…高橋 勉	6	378

【トピックス（連載）】

中国駐在員日記	…豊岡 司	1	46
アメリカ駐在員日記	…山田真の介	3	179
チェコ駐在員日記	…石高 雄太	4	247
シンガポール駐在員の生活	…渡辺 直樹	5	325
産業オートメーション技術における国際標準化—国際標準化機関と標準化活動—	…五嶋 裕之	1	49

産業オートメーション技術における国際標準化—CADデータ交換の諸問題とISO 10303 (STEP) 規格—	…五嶋 裕之	3	176
産業オートメーション技術における国際標準化—STEPアプリケーションプロトコル (AP) とその利用方法—	…五嶋 裕之	4	241
スマートグリッドと情報・通信の国際標準化	…五嶋 裕之	5	319

TCP/IPを用いたネットワーク通信の基礎	…内堀 晃彦	3	182
TCP/IPを用いたネットワーク通信のプログラミング	…内堀 晃彦	4	244
TCP/IPを用いたネットワーク通信のプログラミング (IPv6, UDP)	…内堀 晃彦	5	322
学生によるフルードパワー企業見学記	…阿部 利章	3	185
学生によるフルードパワー企業見学記	…阿部 利章	5	328

【研究室紹介（連載）】

神奈川工科大学山本研究室	… { 藤田 玲洋 町田 忠計	1	52
沼津工業高等専門学校大島研究室	…大島 茂	4	250
東京都市大学高機能機械制御研究室	… { 佐川 祐貴 鈴木 勝正	6	383

【企画行事】

平成24年度企画行事紹介	… { 大内 英俊 桜井 康雄	1	56
夏休み小学生自由研究教室（福岡工業大学 フルードパワーロボット体験教室）	…加藤 友規	1	59
平成23年度オートタムセミナー開催報告「パワートレインにおけるフルードパワー技術」	…成田 晋	2	130
平成23年度ウインターセミナー開催報告「圧縮空気エネルギーの有効利用技術」	…只野耕太郎	4	253
第2回フルードパワーに関する日中共同ワークショップ	…鈴木 健児	4	255
平成24年度春季フルードパワーシステム講演会報告	…高岩 昌弘	5	331
平成24年春季講演会併設セミナー「電動とフルードの社会貢献」	…加藤 友規	5	333

【コーヒープレイク】

手押し井戸ポンプ	…大橋 彰	1	45
こんなことはありませんか？	…小山 紀	2	76
特許の常識と思えること	…木原 和幸	4	240
特許よもやま話	…木原 和幸	6	382

【会告】

平成23年度 ウインターセミナーのお知らせ		1	2
平成24年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ		1	3
平成24年春季フルードパワーシステム学会講演会 オーガナイズドセッションの講演募集案内		1	5
各委員会名簿		1	7
平成24年春季講演会併設セミナー「電動とフルードの社会貢献」		1	8
第2回フルードパワーに関する日中国際共同ワークショップの開催および論文募集のお知らせ		1	29
共催・協賛行事のお知らせ		1	35
論文集委員会よりのお知らせ		1	55
その他		1	1, 6, 35, 62

平成24年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ	2	64	一般社団法人日本フルードパワーシステム学会 (JFPS) フェロー認定者推薦のお願い	4	194
平成24年春季フルードパワーシステム講演会 オーガナイズドセッションの講演募集案内	2	66	共催・協賛行事のお知らせ	4	196
平成24年春季講演会併設セミナー「電動とフルードの社会貢献」	2	67	「フルードパワーバーチャルミュージアム」開設のお知らせ	4	203
触れて学べる！入門者向き実習講座「油空圧技術」	2	68	その他	4	189, 195, 198, 205, 258
共催・協賛行事のお知らせ	2	91	平成24年度オータムセミナーのお知らせ「フルードパワー技術を活かす油圧作動油の最新動向」	5	260
各委員会名簿	2	119, 127	「フルードパワーバーチャルミュージアム」開設のお知らせ	5	261
若手育成フルードパワー道場7「フルードパワーに生かせる電子回路技術」開催のお知らせ	2	121	平成24年秋季フルードパワーシステム講演会のお知らせ	5	262
その他	2	63, 86, 132	平成24年秋季フルードパワーシステム講演会オーガナイズドセッション講演募集のご案内	5	264
平成24年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ	3	134	一般社団法人日本フルードパワーシステム学会 (JFPS) フェロー認定者推薦のお願い	5	289
平成24年春季講演会併設セミナー「電動とフルードの社会貢献」	3	135	平成24年度一般社団法人日本フルードパワーシステム学会委員会名簿	5	299
第31期通常総会・技術懇談会 開催のお知らせ	3	136	共催・協賛行事のお知らせ	5	318
若手育成フルードパワー道場7「フルードパワーに生かせる電子回路技術」開催のお知らせ	3	136	その他	5	259, 265, 266, 304, 336
触れて学べる！入門者向き実習講座「油空圧技術」	3	137	日本フルードパワーシステム学会平成24年度受賞候補者募集	6	338
共催・協賛行事のお知らせ	3	139	平成24年秋季フルードパワーシステム講演会のお知らせ	6	339
各委員会名簿	3	140	平成24年度ウィンターセミナーのご案内	6	340
第2回フルードパワーに関する日中国際共同ワークショップ	3	145	電子投稿・審査システム導入について	6	341
その他	3	133, 137, 170, 188	学会誌に掲載された記事の著作権の帰属確認について	6	342
第31期通常総会終了	4	190	共催・協賛行事のお知らせ	6	372
平成24年度特別教育講座「油圧システムにおけるモデリングのエッセンスをつかむーモデリングの基礎から位置決めシステムのモデリングー」	4	191	資料一覧	6	386
平成24年度オータムセミナーのお知らせ「フルードパワー技術を活かす油圧作動油の最新動向」	4	193	フルードパワーシステム第43巻総目次	6	389
			その他	6	337, 341, 392

編集室

次号予告
—特集「ものづくり教育（大学編）」—

年頭にあたり	香川 利春
年頭に当たって	築地 徹浩, 肥田 一雄, 北畠 多門
「ものづくり教育（大学編）」発行にあたって	吉田 和弘
ものづくり教育に活かすコミュニケーションスキル	
—エンジニアリング・ファシリテーション	大石加奈子
エンジニアリングデザイン教育—ものづくり工学実習—	加藤 友規, 溝田 武人
JABEEとエンジニアリング教育	岸本喜久雄
カーネギーメロン大学におけるものづくり教育	塚越 秀行
国際デザインコンテスト（IDCロボコン）2012	山北 昌毅
PBLを志向した設計製図教育「EV-Mileage」	佐藤 恭一
東北大学機械系大学院教育改革プログラム「機械工学フロンティア創成」	吉田 和哉
岐阜大学金型創成技術研究センターにおけるものづくり教育	王 志剛
〔FPIC会議報告〕2012年度日本機械学会年次大会におけるフルードパワー研究の動向	田中 豊
〔教室〕おもしろ油圧機構 第10回 メカトロ油圧機器	大橋 彰
おもしろ空気圧「イオナイザ」	小辻 一雄
入門講座「流体力学」第3回：噴水はどこまで上がる？	高橋 勉
〔トピックス〕油空圧に関するISO活動の現状	千葉 誠
韓国駐在員日記	三宮 俊之
〔研究室紹介〕東京工業大学横田・吉田研究室	横田 眞一, 吉田 和弘
〔企画行事〕ステルソン教授の特別講演会	田中 豊

平成24年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 吉田 和弘 (東京工業大学)	委員 中野 政身 (東北大学)
副委員長 塚越 秀行 (東京工業大学)	西海 孝夫 (防衛大学校)
委員 伊藤 雅則 (東京海洋大学)	藤田 壽憲 (東京電機大学)
堀 晃彦 (宇部工業高等専門学校)	丸田 和弘 (株コマツ)
大橋 彰 (油研工業(株))	村松 久巳 (沼津工業高等専門学校)
小倉 弘 (日立建機(株))	柳田 秀記 (豊橋技術科学大学)
加藤 友規 (福岡工業大学)	山田 真の介 (株TAIYO)
木原 和幸 (財工業所有権協力センター)	山田 敏夫 (株コガネイ)
金 俊完 (東京工業大学)	山之内 健司 (KYB(株))
栗林 直樹 (川崎重工業)	吉満 俊拓 (神奈川工科大学)
五嶋 裕之 (機械振興協会)	担当理事 宮川 新平 (KYB(株))
佐藤 恭一 (横浜国立大学)	山田 宏尚 (岐阜大学)
妹尾 満 (SMC(株))	編集事務局 藤谷 秀次 (学会事務局)
多田 昌弘 (CKD(株))	竹内 留美 (勝美印刷(株))

(あいうえお 順)

会 告

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写してください。ただし(社)日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

権利委託先：(中法) 学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

TEL：03-3475-5618 FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていないので、直接本会へご連絡ください。

日本フルードパワーシステム学会論文集

第43巻, 第6号 (2012)

平成24年11月

目 次

研究論文

1. ガイド構造を有する平行円板間流れの騒音特性に関する研究
大川 陽一, 村松 久巳, 尹 鍾皓, 香川 利春 135
2. 層流型高速応答流量計を用いた
ソプラノリコーダー吹奏ロボットの呼気制御
加藤 友規, 益田 大海, 河村 良行,
船木 達也, 川嶋 健嗣, 香川 利春 143
3. 空圧シリンダによりテザー付き子機を高く投擲する方法
ワタリ エイリ, 塚越 秀行, 北川 能 149

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.43, No.6

November 2012

Contents

Paper

1. A Study on Noise Characteristics of Radial Flow between Two Parallel Disks with Guide Structure
Yoichi OKAWA, Hisami MURAMATSU, Chongho YOUN, Toshiharu KAGAWA 135
2. Control of Blown Air for a Soprano-recorder-playing Robot using Quick Response Laminar Flow Sensor
Tomonori KATO, Hiromi MASUDA, Yoshiyuki KAWAMURA,
Tatsuya FUNAKI, Kenji KAWASHIMA, Toshiharu KAGAWA 143
3. Methods for Higher Casting of a Tethered Child Machine Using a Pneumatic Cylinder
Eyri WATARI, Hideyuki TSUKAGOSHI, Ato KITAGAWA 149

Published by
The Japan Fluid Power System Society
c/o Kikaishinko Building
3-5-22 Shiba-koen, Minato-ku, Tokyo, 105-0011, Japan

研究論文

ガイド構造を有する平行円板間流れの騒音特性に関する研究*

大 川 陽 一**, 村 松 久 巳***, 尹 鍾 皓****, 香 川 利 春****

A Study on Noise Characteristics of Radial Flow between Two Parallel Disks with Guide Structure

Yoichi OKAWA, Hisami MURAMATSU, Chongho YOUN, Toshiharu KAGAWA

In this research, we propose to install a guidance structure to an element with radial flow between two parallel disks named a radial slit, and investigate its influence on the noise characteristics experimentally. Even if the radial slit is applied to pneumatic components with casing cover, the guide structure is expected to preserve advantage of silence ability. The noise characteristics of the radial slit without the guidance structure and with the guidance structure, which has a sudden-expansion of flow area, are compared experimentally. It is observed that high frequency noise is generated and the silencing ability of the radial slit gets worse by installing the guidance structure. In order to obtain the angle of the guidance structure for minimizing the noise level, the angle varies from 3 degrees to 60 degrees and these noise characteristics are measured under the same differential pressure. As a consequence, it is found that the noise level has a minimum value when the angle of the guidance structure is in the range from 10 degrees to 20 degrees. The flow pattern on the surface of the guidance structure is visualized by the oil film technique. The observed flow patterns change with increasing the angle, and the features of these flow patterns are described as follows; (i) when the degree of the guidance angle is small, a triangular shaped sediment accumulation of an oil film is observed on the surface of the guidance structure, (ii) the flow in the radially inward direction occurs on the surface with increasing the angle, and (iii) when the angle is more than 30 degrees, the flow begins to separate from the surface of the guidance structure. By combining the results of the noise characteristics and visualization, it is found that the noise level is minimized during transition between (i) and (ii).

Key words : Pneumatics, Noise, Radial slit, Valve

1. 緒 言

空気圧システムは、安全性の観点から産業分野の自動化や省力化に広く用いられている。しかしながら、圧縮空気の高圧化に伴い、圧力制御弁、流量調節弁などの前後で圧力比が大きい場合、乱流および衝撃波により非常に大きな空力騒音が発生する。この騒音は、工場の中で作業に従事する作業員に対してストレスとなる。また、工場周辺の環境に対しても影響を与える。このため、空力騒音は大きな環境問題となっている。

これまでに、このような空力騒音の発生とその伝播に関する実験および理論的な解析が行われてきた^{1), 2)}。これまで行われてきた空力騒音の制御方法は、ノズルや減圧弁の

弁プラグや弁座の最適形状を実験的に調査する方法^{3) 4)}に加えて、管路の壁面を消音材で巻く方法⁵⁾、多孔質金属を用いて音響エネルギーを吸収する方法⁶⁾などが主であった。

筆者らは、低騒音での減圧を実現できるスリット型機構（以下、ラジアルスリットと称す）を提案した⁷⁾。ラジアルスリット内の流れは、狭いすきまを有する平行円板間流れとなる。非常に狭いすきまに圧縮空気を通過させることにより、騒音の主要な原因となる空気の乱れと衝撃波の発生を抑えることで低騒音化が可能となる。このことから、空気圧システムにおける減圧弁で騒音源となる通常のオリフィスをラジアルスリットにすることにより、発生する騒音が小さい減圧機構としての応用が期待される。

これまでに筆者らは、減圧機構としてすきま高さが50 μ mのラジアルスリットの流体解析および騒音特性の実験を行った。ラジアルスリットは、オリフィスと比較して、約35dB以上の低騒音化の効果が有り、また、放射状に広がる流路形状は、平行な流路形状より約6dBの低騒音化が可能であることがわかった⁷⁾。また、シュリーレン可視化装置を用いて、ラジアルスリットでは、圧力差が500kPaの場合において、衝撃波の発生がないことを可視化し、ラジアルスリットの静音性を確認している。また、発生する騒音

*平成23年9月22日 原稿受付

**東京工業大学大学院総合理工学研究科メカノマイクロ工学専攻

(所在地 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 R2—45)

(E-mail : okaway.rp@gmail.com)

***沼津工業高等専門学校機械工学科

****東京工業大学精密工学研究所

レベルとレイノルズ数の関係を実験的に明らかにし、騒音レベルの予測を可能にしている⁸⁾。

これまで、ラジアルスリット下流は大気圧中に開放し、かつ、障壁となるケーシングが存在しない状況における特性に関して研究を行ってきた。しかしながら、ラジアルスリットを低騒音型減圧機構としてバルブ機器内に設置するのであれば、ラジアルスリットを通過した空気がケーシングに衝突することにより、低騒音な特性が悪化する可能性がある。そこで、ラジアルスリット下流側にガイド構造を付加し、緩やかに減速させながら空間に放出することが可能な構造を提案する。緩やかに減速させることにより、狭い空間に空気を放出する際の空力騒音の発生を抑えられることが期待される。

ガイド構造の角度によっては、ラジアルスリットの低騒音化の効果が小さくなることが考えられる。そこで、本論文の目的は、ガイド構造の提案と、ガイド構造の最適形状を得るための第一段階として、ガイド角度 α による騒音と流れの状態に対する検討を行うことである。ガイド構造の角度を変化させ、低騒音化の効果が最大となるガイド角度を実験的に求める。また、得られた実験結果に対して、騒音レベルの周波数分析および油膜法による可視化を行い、考察を行う。

第3章ではラジアルスリットの基本構造及びガイド構造に関する説明をし、第4章では実験装置に関して説明する。ガイド構造によるラジアルスリットの騒音特性への影響を第5章で示し、第6章では流動パターンの可視化によって、ガイド角度が変化することによる騒音特性への影響に対する考察を行う。第7章では本論文の結論を述べる。

2. 主な記号

A	: 流路面積	[m ²]
D_h	: 水力直径	[m]
G	: 質量流量	[kg/s]
h	: ラジアルスリットのすきま高さ	[m]
NL	: 騒音レベル (A特性)	[dB(A)]
P	: 圧力	[kPa(abs)]
P_a	: 大気圧	[kPa(abs)]
P_{total}	: ラジアルスリットのすきま入口から 出口までの差圧	[kPa(abs)]
Q	: 体積流量	[L/min]
r	: ラジアルスリット半径	[mm]
μ	: 粘性係数	[Pa·s]
α	: 角度	[degree]
β	: 開口角度比	[—]
ρ	: 密度	[kg/m ³]
ζ	: 入口圧力損失係数	[—]
添字		
in	: ラジアルスリットのすきま入口部分の値	

out : ラジアルスリットのすきま出口部分の値

u : ラジアルスリット上流における値

3. 構造および原理

3.1 平行円板間流れ

ラジアルスリットの構造は、Fig. 1のように2枚の円板を平行に重ね合わせたものである。圧縮された空気は、円板の中心に流れ込み、中心から放射状の方向に狭いすきまを通過して外側へ流出する。流体は、すきまの中を流れながら減圧されるために下流側には急激な圧力変動による衝撃波は発生しないと考えられる。また、スリット中の流れは、粘性の影響が強い流れになるため、上流側にある空気の乱れは整流される。このことから、滑らかな流れにより減圧が行われるために、高速であるにもかかわらず、衝撃波の発生を伴わずにきわめて静かな減圧を行うことが出来る。

ラジアルスリットにおける圧力損失は、スリット内の流れを層流および等温変化と仮定するとき、次式で示される¹⁰⁾。

$$\Delta P_{total} = \sqrt{P_a^2 + \frac{12\mu G P_a}{\beta \pi \rho h^3} \ln \frac{r_{out}}{r_{in}}} + \zeta \frac{\rho \bar{u}_{in}^2}{2} \quad (1)$$

第1項は、スリット内部における粘性による損失であり、第2項は、スリット入口部分における付加損失である。

3.2 ラジアルスリットのガイド構造

本論文で提案するラジアルスリットのガイド構造の説明をする。ラジアルスリットを低騒音型減圧機構としてバルブ機器内に設置する場合、Fig. 1に示すように、ラジアルスリットの周りはケーシングで囲まれることになる。この場合の流路形状を再現するために、Fig. 2(a)に示すような、円板中心から半径方向に22mmの位置で急拡大する流路形状を有するラジアルスリットを作製した。Disk-aの斜線で示した部分は、すきまが平行な流路部分であり、交差斜線で示した部分は、流路のガイド構造部分である。これを $\alpha=90^\circ$ のラジアルスリットと称することにする。ラジアルスリットの外半径 r_{out} は30mm、内半径 r_{in} は8mmである。放射状の平

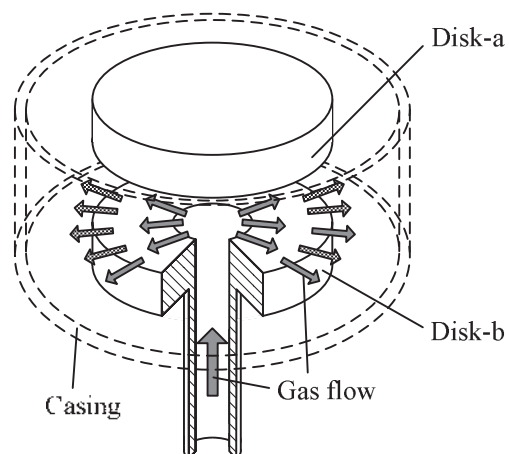


Fig. 1 Structure of the radial slit

行円板間流れを実現するために、Disk-aの上面を4つの場所で板厚を50 μ m削り、向き合う平行面によりすきま流れとしている。ひとつの入口の開口角度は60°であり、合計の開口角度は240°となる。したがって、円板に対する流路の開口角度比 β は2/3である。

また、 $\alpha = 90^\circ$ よりも緩やかな拡大流路を有するラジアルスリットを作製した。Fig. 2(b)に示すように、半径22mmの位置からDisk-aの半径方向に長さ8mm、角度 α で傾斜を付けた。本研究では、ガイド角度 α を10°から30°までは5°刻みとし、さらに $\alpha = 3^\circ, 5^\circ, 7^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の合計10種類のDisk-aを作製した。

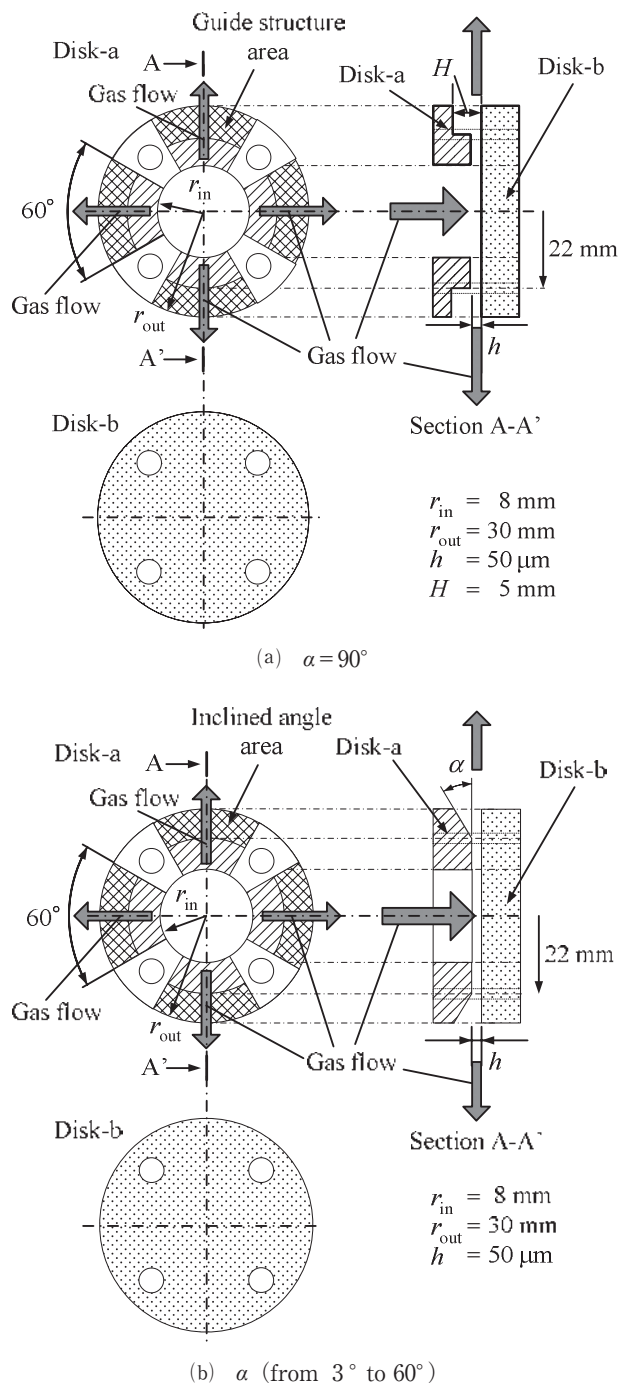


Fig. 2 The radial slit

また比較対象として、ガイド構造を持たない外半径 $r_{out} = 22$ mm、内径 $r_{in} = 8$ mmのラジアルスリットに対しても騒音特性を調べた。ここでは、ラジアルスリットを構成する最小単位である一枚の円板を用いて実験を行う。

4. 実験装置と実験方法

4.1 流量特性

ラジアルスリットの流量特性を測定した。実験回路図をFig. 3に示す。実験回路は、空気圧源、バッファタンク、圧力レギュレータ、流量計、圧力計、ラジアルスリットで構成されている。ラジアルスリットの下流側を大気放出し、上流側圧力を圧力レギュレータにより一定に保ちながら、熱式質量流量計（サンプリング周期10ms, FD-A100, 株式会社エンス）により体積流量を求めた。測定した質量流量と測定時の大気圧力および大気温度から、ラジアルスリットを通過した体積流量を求めた。体積流量は、基準状態（0℃、大気圧101.3kPa、相対湿度0%）における値に換算し、 Q [L/min(nor)] と表記する。

流量と圧力損失の関係について、実験結果と式(1)により求めた計算結果を比較した。

4.2 騒音特性

本研究で用いた空気圧回路・音響測定システムをFig. 4に示す。音響測定試験は、空気圧用消音器の測定規格であるJIS B8379⁹⁾に準拠して行った。

騒音測定室内に置かれたコンデンサマイクロホン（Type

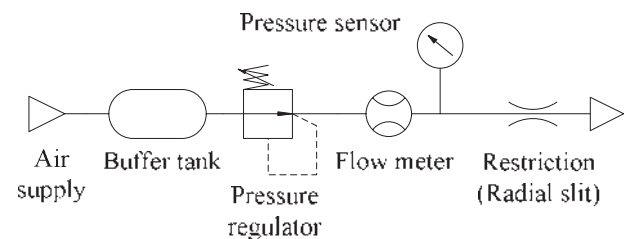


Fig. 3 Experimental setup for flow characteristics measurement

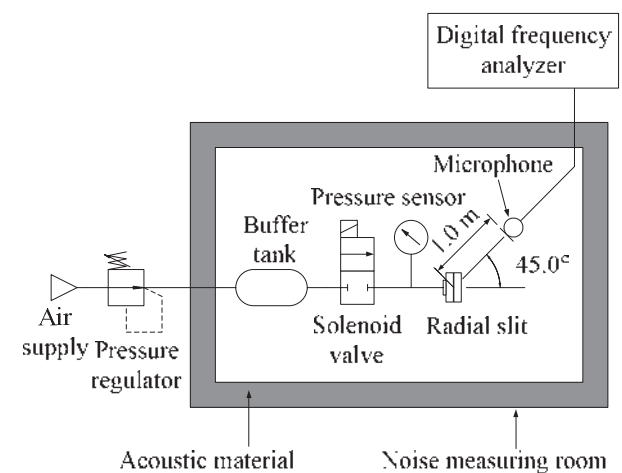


Fig. 4 Experimental setup for noise level measurement

4165, Brüel & Kjær) は、水平面内で回転し、管路中心軸から測った角度を 45° にする。また、実験対象との距離は1 mとした。さらに、騒音測定室外に置かれたデジタル周波数分析機 (Dual channel real-time frequency analyzer, Type 2133, Brüel & Kjær) により騒音レベルが測定され、周波数分析が行われる。騒音測定室の壁には吸音材が設置され、暗騒音は26.6dB(A)であった。空気圧回路では、上流側にある容器の圧力を圧力レギュレータによって設定圧力値に保ち、圧縮空気を流す。回路端にはラジアルスリットが取り付けられており、大気放出する際の騒音レベルが測定される。

5. ガイド構造の影響

5.1 流量特性

圧力—流量特性の実験結果をFig. 5に示す。縦軸は上流圧力、横軸は体積流量である。

図中には、式(1)による計算値を実線で示してある。式(1)において外径 $r_{out}=22\text{mm}$ 、入口圧力損失係数 $\xi=0.9$ としたときに実験結果と良好な一致を示した。このことから、ガイド構造付きラジアルスリットにおいて、圧縮空気がすきま内に流入した場合、平行なすきま高さとなる $r_m=8\text{mm}$ から $r=22\text{mm}$ までの14mmの間に圧力損失は終わり、その後方のガイド構造部分では圧力損失が起こらないために、ガイド角度は圧力—流量特性に影響しないと考えられる。

5.2 騒音特性

ここでは、ガイド構造が騒音特性に及ぼす影響を述べる。ガイド構造を持たないラジアルスリットとFig. 2(a)に示した $\alpha=90^\circ$ のラジアルスリットにおいて、騒音特性を調べた。

ラジアルスリットの出口におけるレイノルズ数から、次式を用いて騒音レベルが予測できる¹⁰⁾。

$$\begin{aligned} Re_{out} \leq 2500, \quad NL &= 0.0118 Re_{out} + 25.13 \\ Re_{out} > 2500, \quad NL &= 0.0023 Re_{out} + 48.45 \end{aligned} \quad (2)$$

ただし出口におけるレイノルズ数は、

$$Re_{out} = \frac{\bar{\rho}_{out} D_h \bar{u}_{out}}{\mu} = \frac{GD_h}{\mu A_{out}} \quad (3)$$

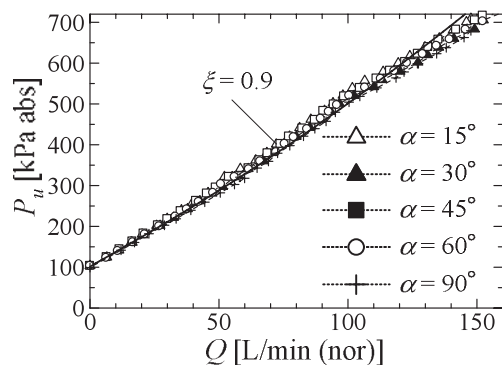


Fig. 5 Flow characteristics of the radial slit structure

$$D_h = 4 \frac{2\pi r h}{2(2\pi r + h)} \cong 2h \quad (4)$$

と定義した。

この予測値と実験結果との比較をFig. 6に示す。縦軸は騒音レベル、横軸は出口におけるレイノルズ数である。式(2)による予測騒音レベルを実線で示している。いずれのラジアルスリットもレイノルズ数が減少するにつれて、騒音レベルも減少した。ガイド構造を持たないラジアルスリットにおける実験結果は、予測騒音値と良好な一致を示した。一方、 $\alpha=90^\circ$ において、 $r=22\text{mm}$ におけるレイノルズ数を Re_{out} として用いた実験結果は、予測値を大きく上回る値を示した。Fig. 7における周波数分析によると、ガイド構造を設けたことにより、4 kHz以上の高周波数成分の音圧レベルSPLが上昇し、騒音が大きくなる。そこで次項では、ガイド構造由来の騒音を低減するために、 $\alpha=3^\circ$ から $\alpha=60^\circ$ で傾斜を持たせ、その効果について検討した。

5.3 騒音レベルに対するガイド角度の影響

本項では、騒音レベルとガイド角度の関係を示す。Fig. 8に、様々な角度における騒音レベル測定の結果を示す。縦軸は騒音レベル (dB(A))、横軸はガイド角度である。横軸

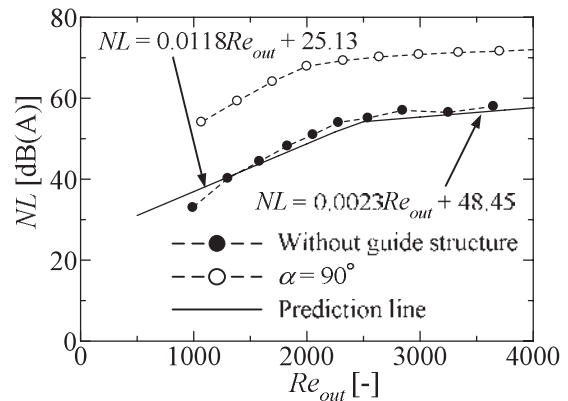


Fig. 6 Relation between Reynolds number and noise level

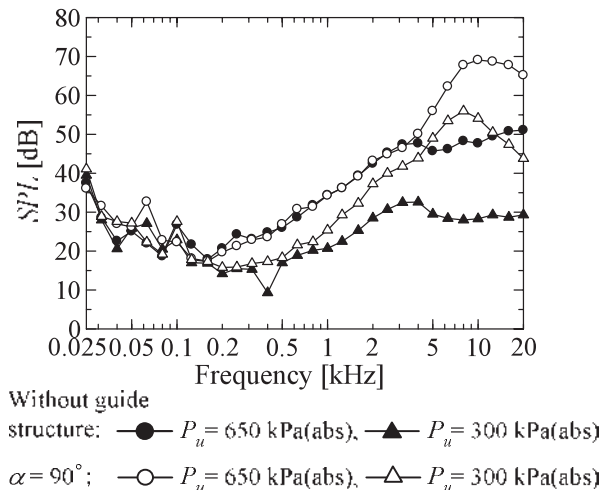


Fig. 7 Frequency spectra (without guide structure and $\alpha=90^\circ$)

の左端は、ガイド構造を持たないラジアルスリットの結果をプロットしている。

すべての上流側圧力値の設定条件において、 $\alpha=10^\circ$ から 20° の間において騒音レベルが最小値となる、下に凸のグラフ形状をとる。

ガイド構造を持たないラジアルスリットとガイド構造付きラジアルスリットの騒音レベルの最小値との比較をみると、低流量領域では、 α を 3° とした場合において騒音レベルが大幅に上昇し、ガイド構造付きラジアルスリットは、ガイド構造を持たないラジアルスリットと比較して、静音性が悪化した。しかしながら、上流側圧力を $P_u=600\text{kPa}$ (abs) 以上とした場合は、ガイド構造を持たないラジアルスリットと同程度の騒音レベルとなる α が存在する。また、 $P_u=600\text{kPa}$ (abs) 以上の場合においても、ガイド角度が 3° のように微小であっても騒音レベルが上昇していることから、流動パターンが変化していることが考えられる。

以上のことから、ガイド構造を有する場合、ガイド角度 α が 3° から騒音レベルの最小値までの領域と、さらに α を大きくした領域において、支配的となる流動パターンは異なり、それらの流動パターンが切り替わる α において騒音

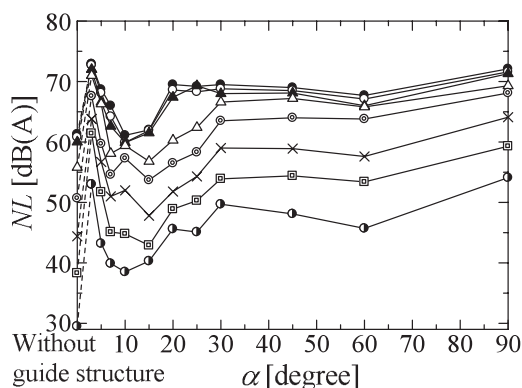
レベルが最小値となることが予想される。これらの現象に関して考察するために、油膜法による可視化を行い、ガイド角度による流れの状態を観察した結果を6章で述べる。

5.4 周波数分析

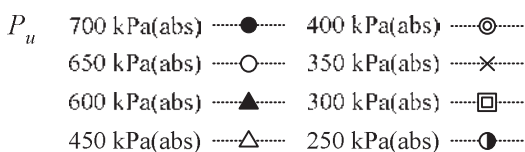
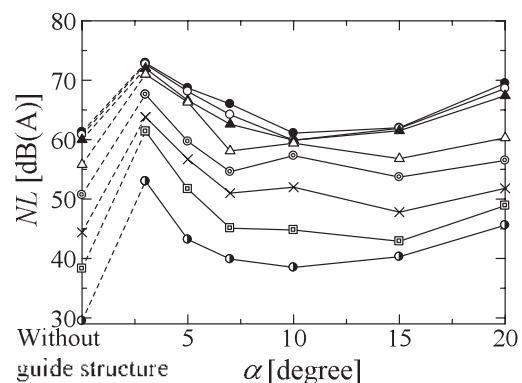
ガイド構造付きラジアルスリットに対して、 $\alpha=3^\circ$ から 30° の範囲で騒音レベルが変化する現象について、周波数分析を行い検討した。ガイド構造を有さないラジアルスリットおよび $\alpha=5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ のラジアルスリットに対して、上流圧力を 650 および 300kPa (abs) としたときの騒音レベルの周波数分析の結果をFig. 9に示す。

各上流圧力条件において、緩やかなピークを持つブロードバンドノイズが観測される。 $P_u=650\text{kPa}$ (abs) におけるブロードバンドノイズのピーク周波数は、 16kHz である。また、 $\alpha=5^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ におけるブロードバンドノイズ SPL の最大値は、約 67.9 dB である。

一方、ガイド構造を有さないラジアルスリットおよび 15° におけるブロードバンドノイズ SPL の最大値は、 64.8 dB と小さかった。上流圧力を $P_u=300\text{kPa}$ (abs) にすると、 $\alpha=60^\circ$ ではブロードバンドノイズのピークは低周波数側にシフトし、 12.5kHz となる。一方、 $\alpha=5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ におけるブロードバンドノイズのピーク値は変化せずに

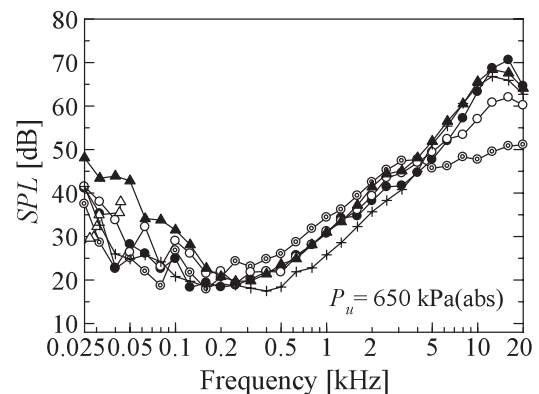


(a) Full scale view

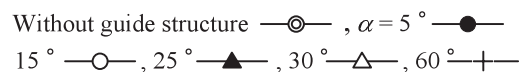
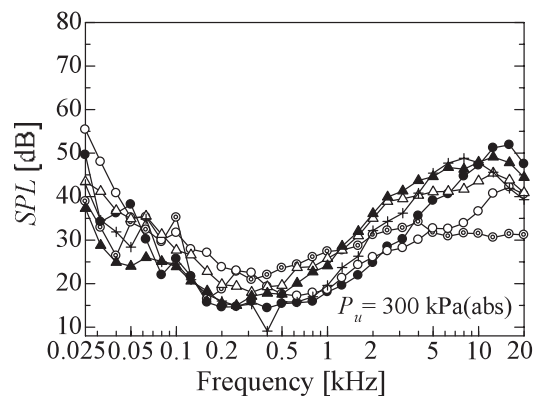


(b) Enlarged view

Fig. 8 Relation between vane angle and noise level



(a) $P_u=650\text{kPa}$ (abs)



(b) $P_u=300\text{kPa}$ (abs)

Fig. 9 Frequency spectra

16kHzで、ブロードバンドノイズSPLのピーク値も、他の角度の場合と比較して5dB程度低くなっている。低騒音化に対しては、以上で述べたブロードバンドノイズSPLの最大値だけでなく、広帯域騒音の低下が寄与している。

6. ラジアルスリット内部の流れ

ラジアルスリットのすきまは、50 μ mと極めて小さいために、内部の空気の流速を直接計測によって確認することは困難である。そこで、流れの可視化法のひとつである油膜法を用いて、ガイド角度によるラジアルスリット内の空気の流れ方向の変化を調べた。油膜法とは、表面に油と顔料および添加剤で混合した油膜材によって油膜または油点を作り、流れによる筋模様から流れの状態や方向を可視化する方法である¹¹⁾。本論文では、油、顔料、添加剤にそれぞれ流動パラフィン、酸化チタン、オレイン酸を57.3:41.7:1.0の質量比率で用いて実験を行った。上流圧力は、650kPa(abs)と300kPa(abs)の2通りに設定し、流速による流れの変化を確認した。

ガイド構造を持たないラジアルスリットは、放射状の流れが見られることが著者のひとりによって確認されている¹²⁾。本実験では、油膜法を実施した全てのラジアルスリットにおいて、ラジアルスリットのすきまが平行な部分では、円板中心から外側に向かって放射状の流れが確認された。一方、ガイド構造部分では、ガイド角度によって異なる流れが見られた。ガイド構造付きラジアルスリット内の流動パターンは、以下に述べる3種類に分類することが出来る。Fig. 10には、油膜法の結果とそこから類推される流動パターンを示している。(a)から(c)の各図の上図は、それぞれDisk-aとDisk-bに上記の油膜材を薄く塗油し、設定圧力 P_u で10分間流した結果である。左下図は、Disk-aの傾斜開始点から終端までの中間地点と傾斜終端の2点に油膜材で油点を作り、圧縮空気を10分間流した前後の比較である。これにより流れの方向性を把握することが出来る。以下に、各パターンの特徴を記す。

(Pattern-A) 傾斜が開始された場所で、流れは減速する。またガイド構造部分において、傾斜中間点に打った油点が外向きに流れる一方で、傾斜終端に打った油点は内向きに流されている。これら外向きおよび内向きの流れは、いずれも放射状に流れず、また、円周方向に交互に見られた。さらに、この内向きの流れによって、ガイド構造の斜面上に油膜が三角形に堆積した。このことから、ガイド構造上において、斜面に対して垂直方向の軸を持つ渦（これを横渦と呼ぶ）が発生していると予測される。

(Pattern-B) 空気はDisk-bに沿って放射状に流出する。Disk-aからはく離した流れは、ガイド構造の傾斜終端からDisk-aの傾斜に沿って逆流し、傾斜開始点に到達する直前でDisk-aから再びはく離しDisk-b側の順方向流れに合流する。これを縦方向の流れと呼ぶことにする。Disk-aとDisk-b

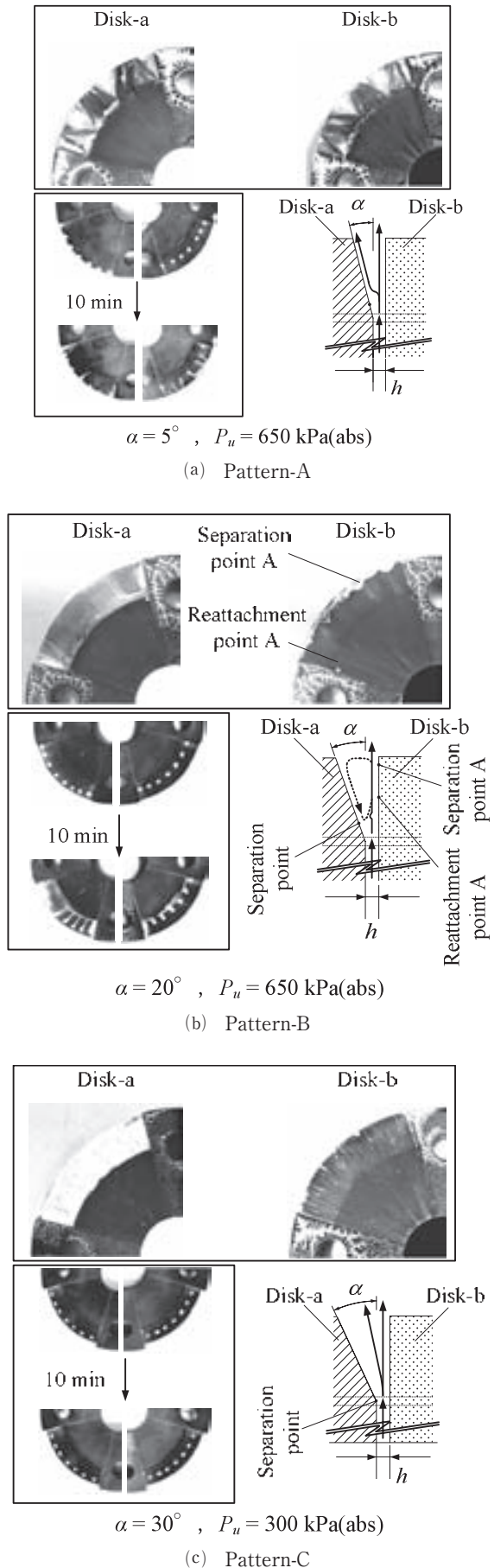


Fig. 10 Classification of flow pattern

で油膜が厚く残っている場所は、それぞれはく離点と合流点である。この流動パターンでは、放射状の流れが見られ、ガイド構造の斜面上に油膜の堆積は確認されなかった。

(Pattern-C) 空気はDisk-bに沿って流れ、Disk-aには傾斜開始直後にはく離した後に再付着することはない。 α が大きくなった場合に見られる流動パターンである。

測定した各ラジアルスリットが示す流動パターンを表にまとめたのがTable 1である。Table 1中のTransition between A to Bとは、Fig. 11に示すように、Pattern-Aの特徴である三角形の堆積が弱まりつつ、Pattern-Bの特徴であるガイド構造部分における上向きの流れが確認された場合を指しており、Pattern-AからPattern-Bへの遷移途中の状態であると考えられる。以上のことから、上流側圧力値に関わらず、ガイド角度が増加するに従い、Pattern-AからPattern-Bを経て、Pattern-Cへ遷移している。Fig. 8の結果と組み合わせると、低圧力領域および高圧力領域のいずれにおいても、Pattern-AからPattern-Bへ流動パターンが遷移する領域となる α を与えたとき、騒音レベルは最小値となると考えられる。このことについて考察する。

α の値が小さくなるほどにPattern-Aの特徴である内向き流れと外向き流れが明確に表れて、横渦が強められていると考えられる。一方Pattern-Bの特徴である縦方向の流れは、 $\alpha=15^\circ$ よりも 20° で強く表れる。騒音レベルの最小値を取るのには、このPattern-AからPattern-Bへの遷移途中である。このことから、遷移領域において騒音レベルが低く抑えられる現象について、以下のように考察される。Pattern-AからPattern-Bへ流動パターンが遷移する過程では、Fig. 11に示されるように、横渦と縦方向の流れがともに弱まる角度が存在し、その時のガイド角度では、ラジアルスリット円板から発生する流体の乱れが弱まるために騒音レベルが低く抑えられると考えられる。

なお、本章で得られた流動パターンが騒音レベルへ及ぼす影響を解明するためには、圧力分布やガイド構造下端における速度変動などの流れの詳細な検討が必要で、今後の

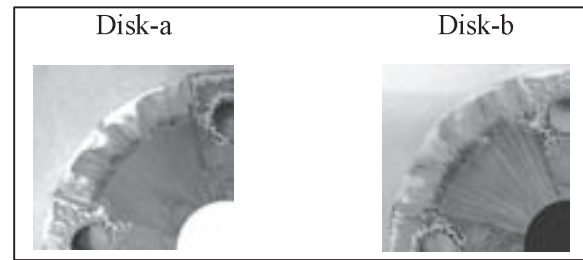


Fig. 11 Flow pattern of transition between A to B

研究課題である。

7. 結 言

本論文では、スリット型機構を工業的に応用する際に静音性を損なわない構造を得るために、ラジアルスリット下流側に、ガイド構造を設けることを提案した。ガイド構造の角度を変化させ、騒音レベルが最小となるガイド角度を実験的に求めた。以下に本報で得られた結論をまとめる。

- (1) ガイド構造を有さないラジアルスリットとガイド角度が 90° となるガイド構造付きラジアルスリットとの騒音特性を比較した。その結果、ガイド構造を設けることにより、高周波数成分の音圧レベルが上昇し、ラジアルスリットの静音性を悪化させる。
- (2) ガイド角度 α を変化させながら、上流側圧力に対する騒音レベルを計測した。その結果、 $\alpha=10^\circ$ から 20° の間において騒音レベルの最小値をとる。
- (3) 油膜法によってガイド構造部分の空気の流動パターンを可視化した。その結果、ガイド角度によって3種類の流動パターンを示す。ガイド角度が小さい場合に表れる流動パターンをPattern-A、徐々に角度が大きくなるにつれて表れる流動パターンをPattern-B、さらに角度を増大させてガイド構造部分から流れがはく離する流動パターンをPattern-Cと名付けた。騒音レベルは、Pattern-AからPattern-Bの流動パターンへ遷移する途中段階となる α を与えたときに最小値となると考えられる。

謝 辞

本研究の騒音測定に際して、阪本大介君、山口貴大君（共に東京工業大学大学院生）に協力して頂いた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Lighthill, M. J., On Sound Generated Aerodynamically—I. General Theory, : Proceedings of the Royal Society of London (Series A), Vol. 211, No. 1107, p. 564-587 (1952)
- 2) 西村：フローコントロールによる空力発生音低減技術、ながれ, Vol. 20, p. 221-230 (2001)
- 3) 杉山, 土居, 小笠原：急拡大ノズルの空気噴出騒音,

Table 1 Experimental results of flow pattern of radial slit structure

α [degree]	$P_u=650$ kPa(abs)	$P_u=300$ kPa(abs)
5	Pattern-A	Pattern-A
10	Transition between A to B	Transition between A to B
15	Transition between A to B	Transition between A to B
20	Pattern-B	Pattern-B
25	Pattern-B	Pattern-B
30	Pattern-B	Pattern-C
60	Pattern-C	Pattern-C

- 日本機械学会論文集, Vol. 49, No. 443, p. 1420-1426 (1983)
- 4) 中野, 大田, 田島: 高圧空気弁の騒音・振動の発生に関する空気力学的研究, 日本機械学会論文集, Vol. 45, No. 391, p. 350-360 (1979)
- 5) Nishimura, M., Kudo, T., Nishioka, M.: Aerodynamic noise reduction by pile fabrics, Fluid Dynamics Research, Vol. 42, p. 1-17 (2010)
- 6) 西村, 深津: 多孔質金属利用低騒音弁の開発, 日本機械学会講演論文集, Vol. 920, No. 78, p. 431-433 (1992)
- 7) 尹, 井上, 川嶋, 香川: 放射状すきま流れを用いた低騒音減圧機構に関する研究, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 35, No. 5, p. 77-83 (2004)
- 8) 尹, 村松, 川嶋, 香川: すきま流れを用いた低騒音減圧機構の可視化による考察, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 36, No. 3, p. 59-65 (2005)
- 9) JIS B 8379: 空気圧用消音器, p. 653-657 (1995)
- 10) Kenji KAWASHIMA, Chongho YOUN, Toshiharu KAGAWA: Development of a Nozzle-flapper Type Servo Valve using a Slit Structure, Trans. ASME Journal of Fluid Engineering, Vol. 129, No. 5, p. 573-578 (2007)
- 11) 浅沼: 流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店, p. 100-107 (1977)
- 12) 尹: スリット型機構による空気圧システムの減圧に関する研究, 東京工業大学学位論文, (2004)

研究論文

層流型高速応答流量計を用いたソプラノリコーダー吹奏ロボットの呼気制御*

加藤 友規**, 益田 大海**, 河村 良行**
船木 達也***, 川嶋 健嗣****, 香川 利春****

Control of Blown Air for a Soprano-recorder-playing Robot
using Quick Response Laminar Flow Sensor

Tomonori KATO, Hiromi MASUDA, Yoshiyuki KAWAMURA,
Tatsuya FUNAKI, Kenji KAWASHIMA, Toshiharu KAGAWA

The purpose of this study is to construct a robot that plays a soprano recorder with realistic sound. Recent years have seen the development of robots that entertain by playing a variety of musical instruments. There have been many reports describing the musical expression of such robots, for example, of robots with artificial lips for playing wind instruments. However, robots playing wind instruments often produce artificial sounds that differ considerably from those produced by their human counterparts, particularly when performing special musical effects, such as vibrato, tremolo, and tonguing.

To build a robot that produces natural soprano recorder sounds matching those produced by a human player, the following procedure was followed. First, the static and dynamic characteristics of the flow sensor measuring blown air were calibrated with an unsteady flow generator to judge whether the sensor's performance was sufficiently accurate. Second, the blown air flow rates were measured when human players performed vibrato with a soprano recorder. Finally, the identified flow rate model was applied to the robot's air flow rate control system. The flow rate was controlled by a spool type servo valve. The sounds produced by the human player and those produced by the robot player were compared using a sound analyzer. The experiment showed that the results obtained for the human player and for the robot agreed very well.

Key words : Pneumatics, Breath control, Recorder playing robot, Unsteady flow generator, Quick response laminar flow sensor

1. 緒 言

近年ロボット開発が急速に発展する中で、単純作業以外のアプリケーションへロボットを適用するケースが増えつつある。いわゆるパートナーロボット¹⁾と言われるものや、様々な楽器を演奏するロボットなどが開発されている²⁾。しかし、吹奏楽器の自動吹奏ロボットでビブラートやトレモロ、タンギングなどの音色を表現しようとする、単純な制御では、人間が吹いた場合と大きく異なり、規則的な音色となってしまう場合がある。著者らの研究グループでは、ソプラノリコーダーを自動吹奏するロボットの開発を

進めているが、ビブラートなどの特殊な音色をどう表現するかが課題となっている。

そこで本研究では、開発を進めてきたソプラノリコーダーの自動吹奏ロボットで、ビブラートなどの特殊な音色を表現する際に、人間の奏者のような味わいを持たせるための基礎技術を確認することを目的とする。具体的には、層流型高速応答流量計を用いた非定常な気体流量の計測・制御技術により、リコーダーの呼気を制御する方法である。

本論文ではまず、気体の任意の振動流が発生可能な非定常流量発生装置を用いて層流型高速応答流量計の動特性試験を行い、リコーダーの呼気の計測を行うのに十分な動特性を有しているかを検証する。その上で、層流型高速応答流量計を用いて、管楽器の上級者がソプラノリコーダーでビブラートを表現した際の呼気の流量を計測する。次に、計測された流量モデルを目標値として、スプール型サーボ弁を用いてリコーダー吹奏ロボットの呼気の流量制御を行う実験を行う。人間がビブラートを表現した場合と、リコーダー吹奏ロボットを用いてビブラートを表現した場合とで、流量と音（サウンドアナライザで解析）を比較する

*平成23年10月16日 原稿受付

**福岡工業大学工学部知能機械工学科

(所在地 福岡県福岡市東区和白東3-30-1)

(E-mail : t-kato@fit.ac.jp)

***産業技術総合研究所計測標準研究部門

(所在地 茨城県つくば市梅園1-1-1 つくば中央第3)

****東京工業大学精密工学研究所

(所在地 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 R2-45)

ことで、将来的に表現のばらつきも含めた人間らしい自動吹奏ロボットを実現するための基盤技術を確立することを目指す。

2. 主な記号

b	: 臨界圧力比	[-]
C	: 音速コンダクタンス	$[\text{dm}^3/(\text{s bar})]$
E	: サーボ弁の制御電圧	[V]
f	: 周波数	[Hz]
G	: 質量流量	$[\text{kg/s}]$
L_c	: 音圧レベル	$[\text{dB(C)}]$
P	: 圧力	$[\text{Pa abs}]$
P_a	: 大気圧	$[\text{Pa abs}]$
ΔP	: 差圧	[Pa]
Q	: 流量	$[\text{L/min ANR}]$
t	: 時間	[s]
θ	: 温度	[K]
θ_0	: 標準仕様温度	[K]

3. 製作したリコーダー吹奏ロボットの概要

著者らはこれまで、Fig. 1に示すソプラノリコーダーの吹奏ロボットの開発を進めてきた。このロボットは、コンピュータ (AD・DAポート、呼吸制御プログラム、音楽シーケンサーソフト等を搭載)、音楽用キーボード (EDIROL MIDI Keyboard controller PC-50)、電子回路 (MIDI信号受

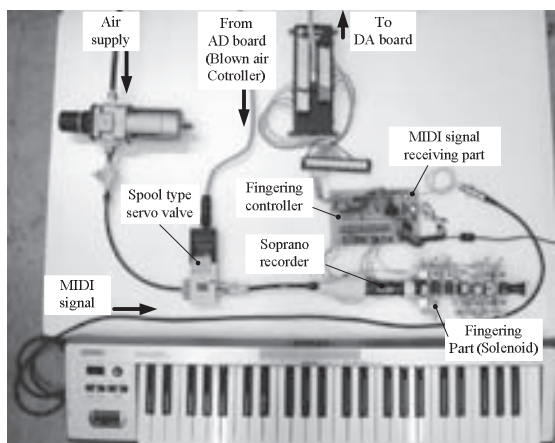


Fig. 1 Developed recorder-playing robot



Fig. 2 Fingering part (solenoid plungers)

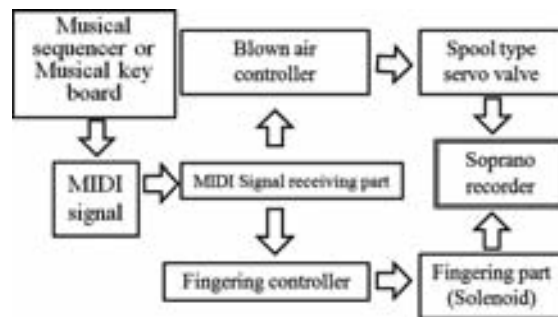


Fig. 3 Configuration of the recorder-playing robot system

信部、運指制御回路、等)、スプール型サーボ弁 (FESTO MPYE-M5-B-SA, 以下SP弁)、ソプラノリコーダー (アウロス503B)、運指機構を構成する合計11個の亚克力板とDCソレノイド (マルハ電機 MD-232) (Fig. 2) などから構成される。システムの構成図をFig. 3に示す。まず、コンピュータ内のMIDI (Musical Instrument Digital Interface)³⁾シーケンサーソフト (Cakewalk SONAR 6 LE) より、リコーダー吹奏ロボットを制御するためのMIDI信号が出力される。このとき、シーケンサーソフトからは伴奏の音楽信号もMIDI信号と同期して出力される。シーケンサーから出力されたMIDI信号は、音楽用キーボードに送信される。この場合、音楽用キーボードは、MIDI信号の伝送器として使用されることになるが、鍵盤を操作することによりMIDI信号の発生装置としても使用可能である。その後、信号は電子回路のMIDI信号受信部より受信され、回路内で信号は、運指機構のDCソレノイドを駆動するための電圧値と、SP弁で呼吸を制御するための音階指令値としてDAボード端子台に送られる信号の2つに分けられる。リコーダーには、各音階によってそれぞれ最適な呼吸の流量値があるが、後者の音階指令値と、呼吸を制御するSP弁の制御電圧 E との関係については (本研究の以前は)、試行錯誤的にチューニングされた。こうして完成したこのロボットは、学園祭等で楽曲を披露し、好評ではあったが、タンギングやビブラートといった特殊な音色を人間らしく表現するという点では、課題が残った。

4. リコーダーの呼吸流量と音程の関係

4.1 流量計の選定

リコーダーの呼吸を計測・制御するためには、高い分解能・動特性の両方を有する気体用流量計が必要である。この点を踏まえ、本研究では呼吸の計測に層流型高速応答流量計 (Quick response laminar Flow Sensor, 以下QFS)⁴⁾を使用した。QFSは層流抵抗管や差圧計などから構成される差圧式の流量計であり、本研究では東京メータ社製・QFS-03-50-30を使用した。流量計前後の差圧 ΔP Paと流量の計測値 Q L/min (ANR) の関係は(1)式で表される。

$$Q = 0.256 \frac{P}{P_a} \Delta P \frac{\theta_0}{\theta} \quad (1)$$

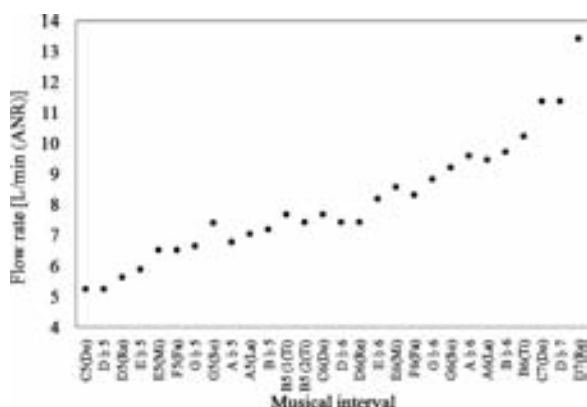


Fig. 8 Experimental results of the optimum flow rates for musical intervals

5. 人間の奏者の呼気計測

5.1 ビブラートの定義

ビブラート (vibrato) とは、楽器の演奏や歌唱において音を伸ばすとき、音の強さまたは音程を周期的に揺らす表現方法である。音楽用語では、前者をトレモロ (tremolo)、後者をビブラートと呼ぶこともあるが、実際には両者の分類・定義は曖昧である。前述のとおり、リコーダーの場合には、呼気流量が変化すると、音の強さと音程の両者が変化する。

5.2 人間の奏者によるビブラートの測定

人間の奏者がリコーダーでビブラートを表現する場合の音と流量値を、測定する実験を行なった。人間の口からの呼気は左端のバックから吹き込まれ、QFSを通過した後にソプラノリコーダーへと到達する。QFSによる測定流量はADボードを介してPCに記録される。ソプラノリコーダーの音はラビウム (labium) と呼ばれるエッジ部分で発生するため、そのすぐ (約20mm) 上部にマイク (Sony ECO-DS-30P) を設置して音を測定し、解析することとした。実験の様子をFig. 9に示す。

本実験では、奏者として管楽器の吹奏に熟達した福岡工業大学吹奏楽団員3名と、同じく福岡工業大学音響部員1名の計4名の学生さんにご協力いただいた。楽器の調律等においては通例、ラ (A4) が基準ピッチ音であるが、ソプラノリコーダーではA4は範囲外のため、本実験において音階は1オクターブ高いラ (A5) とした。奏者にはまず、参考として前述のRWC研究用音楽データベース⁵⁾のソプラノリコーダーのビブラートを聴いていただき、その上で「自然な感じで数ヘルツ程度のラのビブラートを約5秒間表現してください」とお願いし、吹奏していただいた。データは一人につき5回ずつ測定した。

測定結果のうち一例をFig. 10, Fig. 11に示す。Fig. 10はQFSにより測定された流量であり、約7 Hzの振動流が計測されている。なお、比較のため、Fig. 10には前章4.3節でA5の音を測定した際の測定値 (図中、Non-vibratoと表記)

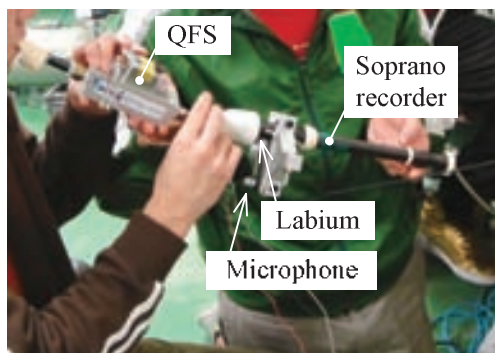


Fig. 9 Photograph of the experimental setting

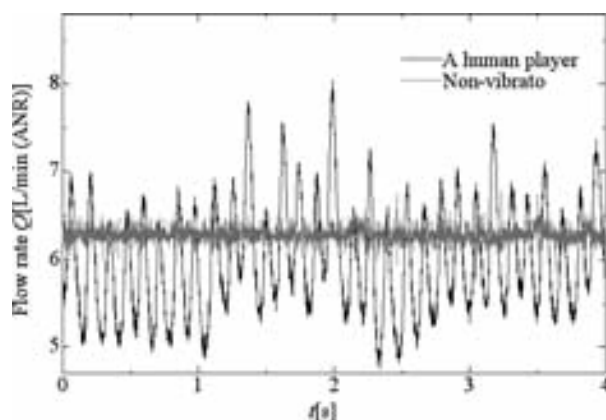


Fig. 10 Experimental data of one of human recorder players measured by the QFS

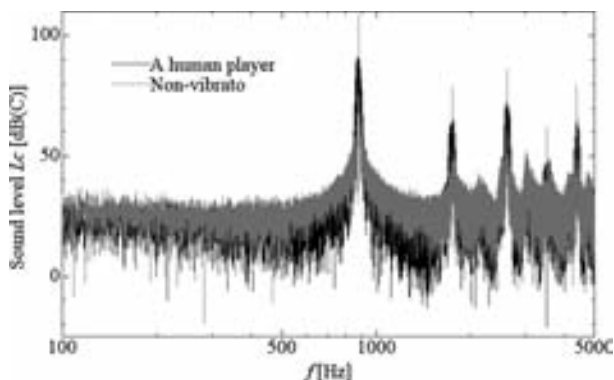


Fig. 11 Experimental results of the sound level

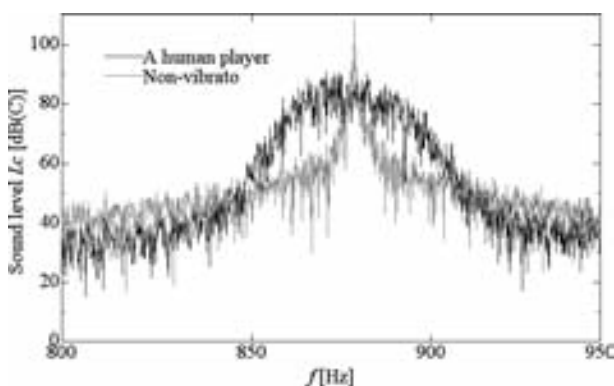


Fig. 12 Experimental results of the sound level (magnified)

も示す。また、人間の奏者によるビブラート表現中の音の測定値と、前章（4.3節）でA5を測定した場合の音の測定値を、それぞれ周波数解析した結果がFig. 11（拡大図：Fig. 12）である。Fig. 11およびFig. 12において、縦軸は音圧レベルdB(C)を表す。A5の基本周波数は880Hzであり、解析結果には880Hzおよびその倍音の周波数でピークが記録されている。Fig. 12では基本周波数付近を拡大しているが、奏者がビブラートを表現した場合には、ノンビブラートの場合と比較して、基本周波数前後（860～900Hz付近）の音域の音圧レベルが高く、ピーク値は若干低いことがわかる。これは、呼気流量が周期的に変化したことにより、リコーダーの音が基本周波数の前後に変動したためである。

6. リコーダー吹奏ロボットによる音色再現

本章では、前章で測定した人間の奏者がビブラートを表現した際の呼気流量の測定値を元に、リコーダー吹奏ロボットによりビブラートを表現する際に、人間らしい音色を再現することを目的とする。リコーダー吹奏ロボットの構成をFig. 13に示す。Fig. 1と比較して、Fig. 13に示すロボットシステムはSP弁とリコーダーの間にQFSが追加されている。

6.1 リコーダー吹奏ロボットの呼気制御方法

リコーダー吹奏ロボットの呼気制御の模式図をFig. 14に示す。本実験では、呼気の制御にDSPを用いた。前章で人間の奏者がビブラートを吹奏した際に測定された流量波形（Fig. 10）を流量制御の目標値として使用し、人間の奏者の演奏を再現することとした。なお、SP弁が有する非線形性を回避するため、あらかじめSP弁の静特性として音速コンダクタンス C と臨界圧力比 b を測定しておき、ISO6358⁸⁾の式により流量 G を定義し、流量制御の際にはその逆関数モデルを用いることで、正確な流量制御を行うこととした。なお、SP弁への供給空気圧は0.1MPa（gauge）とした。また、リコーダー吹奏ロボットの運指はラ（A5）となるよう、MIDI信号を運指機構のコントローラー側から送信した。実験の際の音は、前章と同様にラビューム上に設置したマイクで測定し、解析することとした。

6.2 ビブラート再現実験・実験結果

流量制御の目標値と実験結果（QFSにより測定された流

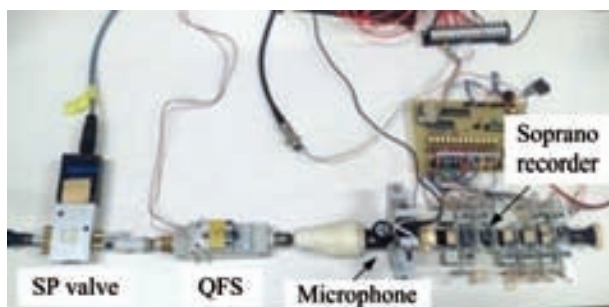


Fig. 13 Recorder-playing robot with the QFS

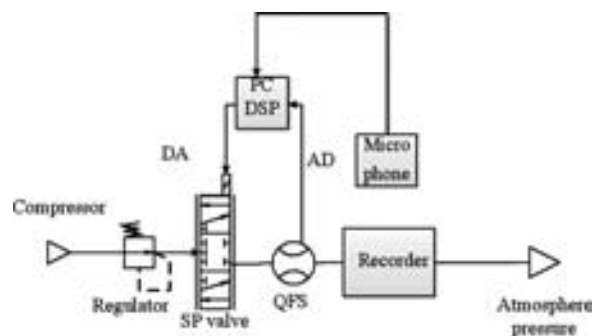


Fig. 14 Schematic of the blown air control part

量）をFig. 15に示す。この図では、流量制御の目標値（図中、A human playerと表記）とリコーダー吹奏ロボットの呼気の流量が、良く追従しているのがわかる。

評価のため、前章（5.2節）で測定された人間の奏者の流量波形と、以下の2つの場合に測定された流量波形について、それぞれ相関係数を求めた。

- ・4.3節で測定されたA5（ビブラートなし）
- ・リコーダー吹奏ロボットのビブラート（4名分、1名あたり5回で計20回）

それぞれの相関係数を求めたところ、前者では-0.033であったが、後者の計20回は平均値は0.962、標準偏差は0.0086であった。実験結果のまとめをTable 1に示す。リコーダーの音の強さと高さは流量によって決まるため、人間の奏者とリコーダー吹奏ロボットによる音は、相関が非常に高いといえる。

また、前章での人間の奏者によるビブラート表現中の音の測定値と、リコーダー吹奏ロボットの音の測定値を周波数解析した結果をFig. 16に、A5の基本周波数880Hz付近を拡大した図をFig. 17に、それぞれ示す。前章のFig. 12に比べ、2つのスペクトル値はほぼ一致しており、この結果からもリコーダー吹奏ロボットにより再現されたビブラートの音色は、人間の奏者の場合と、相関が非常に高いといえる。

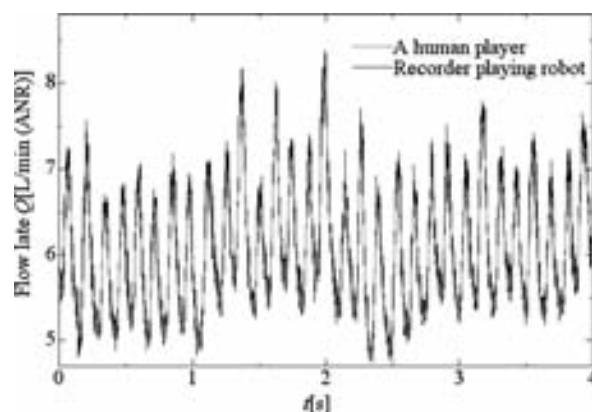


Fig. 15 Measured flow rates obtained by the QFS while vibrato was expressed

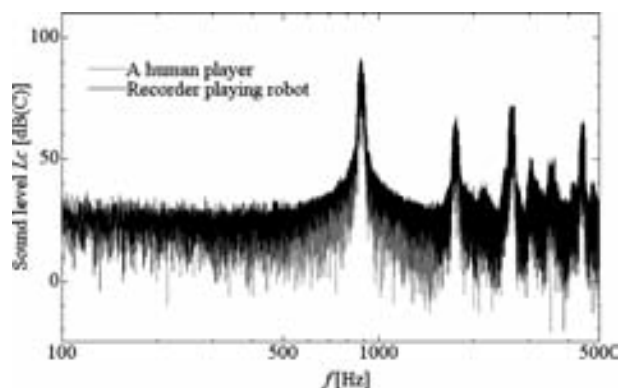


Fig. 16 Experimental results of the sound level

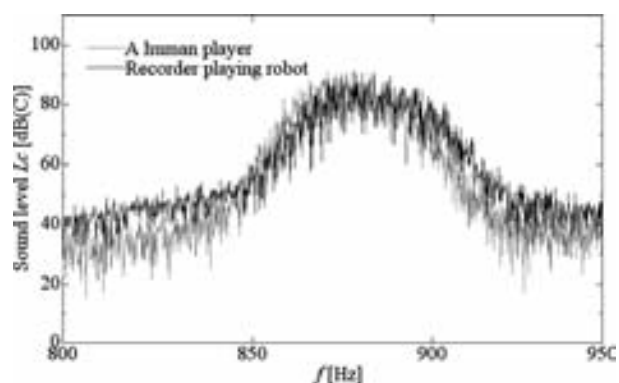


Fig. 17 Experimental results of the sound level (magnified)

Table 1 Comparison of correlation coefficients

Person	Non-vibrato	A	B	C	D
Correlation coefficient	-0.033	0.960	0.965	0.972	0.951

Average 0.962, Standard deviation 0.0086

7. 結 言

本研究では、人間の奏者のような自然な音色を表現できるリコーダー吹奏ロボットを開発するため、非定常流量の計測・制御技術をソプラノリコーダー吹奏ロボットに適用することを試みた。

まず、非定常流量発生装置により層流型高速応答流量計(QFS)の動特性を検証し、リコーダーの呼気の計測・制御に使用可能な十分な動特性を有していることを確認した。次に、QFSを用いて、リコーダーの各音階における最適な呼気流量を測定した。その後、人間の奏者がリコーダーでビブラートを表現した場合の音と流量を測定し、その測定値を流量目標値とし、リコーダー吹奏ロボットでビブラートを再現する実験を行った。実験の結果、人間の奏者の呼気とリコーダー吹奏ロボットの呼気は相関が極めて高く、音色を忠実に再現できていることを、確認した。

参 考 文 献

- 1) <http://www.toyota.co.jp/en/special/robot/>
- 2) Kaneko Y., Mizuhara S., Mizutani K., Nagai K.: Artificial Lips for Automatic Trombone Blower (Biomimetics & Innovative Design): Proc. of the Asian Pacific Conference on Biomechanics: emerging science and technology in biomechanics, p. 23-24 (2004)
- 3) <http://www.midiorg/>
- 4) Kato T., Kawashima K., Cai M., Funaki T., Takayama K., Kagawa T.: Development of Dynamically Calibrated Quick Response Flow Sensor and Its Application to Pressure Servo Control System, Proceedings of 7th Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization, CD-ROM (2003)
- 5) 技術研究組合新情報処理開発機構: RWC研究用音楽データベース: 楽器音, No. 34 (リコーダー) (2001)
- 6) Funaki T., Kawashima K., Kagawa T.: Generator of variable gas flows using an isothermal chamber, Measurement Science and Technology, Vol. 18, p. 835-842 (2007)
- 7) アウロスリコーダー イギリス式運指表, トヤマ楽器製造株式会社
- 8) ISO 6358:1989: Pneumatic fluid power-Components using compressible fluids -Determination of flow-rate characteristics.

研究論文

空圧シリンダによりテザー付き子機を高く投擲する方法*

ワタリ エイリ**, 塚越 秀行**, 北川 能**

Methods for Higher Casting of a Tethered Child Machine Using a Pneumatic Cylinder

Eyri WATARI, Hideyuki TSUKAGOSHI, Ato KITAGAWA

This research discusses novel methods of enhancing the casting height of a tethered payload by efficiently using the casting motion generated by a pneumatic cylinder. Generally, the tether is stored into a case fixed near the actuator. The difference in casting heights depends on the method with which the tether is set. The authors propose two methods relying on applying kinetic energy to the tether along with the payload: the unified type and the discharge type. In addition, in order to generate high-speed motion in a light structure, the authors propose a novel cylinder termed the MB Cylinder. The selection of casting method is based on analysis of the velocity provided by this cylinder. In order to approximate to the ideal situation, a structure that mitigates friction between the tether and its storage case is also proposed. Experimental results show the efficiency of the proposed methods.

Key words : Casting motion, Pneumatic cylinder, Tethered payload casting, Pneumatically driven robot

1. 緒 言

テザー（綱・コード・チューブなど）は、移動探索ロボットの踏破能力や情報収集能力などを補うツールとして有用である。たとえば、ロボット単独では登攀不可能な急斜面に直面した場合、テザー付きアンカーを投擲（とうてき）して外部環境に固定できれば、滑落を防ぎながら移動することが可能となる¹⁾。また、高い障害物の背後を探索しなければならない場合には、テザーの先端につながれた探索機を投擲すれば、テザーを操作しながら死角領域の情報収集が可能となる²⁾。

これらに加えて、移動ロボットの機能向上を目指して、テザーの投擲に関する様々な研究が行われてきた。有隅らは、テザーの先端に装備したマニピュレータの投擲位置を高精度に制御する手法を検討した³⁾。広瀬らは、テザー付きアンカーを投擲して外部環境に固定した後、複数回の引っ張り操作によりテザーを簡便に回収する方法を提案した⁴⁾。筆者らは、テザー付き吸着体を壁に向けて投擲した後、テザーに沿って探索機をロープウェイのようにスライドさせる手法の有効性も確認した⁵⁾。これらの知見が、より広範囲な作業領域を対象とする移動探索ロボットに適用されるためには、搭載したアクチュエータの性能を有効に活用しながら、テザー付き子機を遠方に投擲できる技術が不可

欠となる。

その1つの候補として、カウボーイの投げ縄（Bolas）のように、テザーの任意点周りに子機を公転させながら投擲する手法が挙げられる。このような予備動作によって蓄えた運動エネルギーを瞬時に放出する手法は、飛距離の長い投擲をパワーの小さいアクチュエータで生成する場合は非常に有効である。しかし、狭い作業空間内からの投擲を余議なくされる場合や、テザーのねじれや局所的なストレスを回避したい場合には、このような手法は適さない。

そこで本論文では、1本の空圧シリンダによる1次元的な投擲動作に着目し、その性能を有効に活用しながらテザー付き子機を高く投擲する方法を以下の順に論ずる。まず、テザーの設置方法により投擲高度に差異が生じること示す。次に、高速動作を生成しやすいMBシリンダと名付けた駆動系を導入し、その動作特性に適した投擲手法の選定基準を述べる。さらに、テザーが繰り出される際に生じる抵抗を軽減するケースの構造を提案し、最後に試作機を用いた実験によりこれらの有効性を検証する。

2. 投擲の構成と分類

2.1 基本構成と設定

投擲を生成するアクチュエータとして、本研究では空圧シリンダを使用する。圧縮空気の膨張エネルギーの利用により、出力/重量比の高い構成で高速運動を生成しやすい点が特徴である。また、電動シリンダや発火を伴う火薬銃とは異なり防爆性に優れ、さらにペットボトルロケットのような散水をしないため、屋内環境でも使用しやすい点でも優れている。

*平成23年10月17日 原稿受付

**東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻
(所在地 東京都目黒区大岡山2-12-1)
(E-mail: eyriwatari@gmail.com)

本章では、シリンダチューブとストローク長 L のロッドから構成されるシリンダが、地面に鉛直上向きに置かれているものとする。ロッドの先端のエンドエフェクタはカップ形状を成し、物体を格納することができる。一方、投擲されるテザーは線密度 σ 、全長 Y とし、その一端に質量 m_k の子機がつながれている。なお、本論文における子機とは、外部環境への固定機能・探査機能・マニピュレータ機能・衝撃緩和機能などを備えたペイロードの総称を意味する。

加圧前の初期状態では、ロッドがシリンダチューブ内に収納され最短の状態になっている。また、テザーはケース内に絡まることなく螺旋状に巻かれている。次に、シリンダ内を圧縮空気で加圧すると、投擲時にロッドは最長まで伸展し、子機の重心は地面から高さ h_0 の点を通過する。この瞬間に、子機の重心および地面に対するロッドの速度は最高速度 v_0 に達し、これを「終端速度」と呼ぶこととする。さらに投擲後、子機の速度が空中で0となる瞬間に子機の高さは最高点に達する。この瞬間の高度、すなわち h_0 を基準とした子機の重心の高さを投擲高度 h （2.2節の h_a , h_b , h_{cl} , h_{c2} を一般化したパラメータ）と定める。従って、テザーは、を満たすものとする。

以上の設定のもとで、各種の投擲方法を検討する。それらは、次節で述べるように固定収納式・一体式・放出式と呼べる方式に大別される。本章では、簡単化のため子機やテザーに作用する空気抵抗を0として検討する。

2.2 投擲手法の分類

(a) 固定収納式 (Fixed Storage Type)

ケースをシリンダとともに地面に固定したまま投擲する方式を「固定収納式」と呼ぶこととする (Fig. 1)。これは、水難救助におけるロープの投擲をはじめ、テザーを投擲する際に多用されてきた一般的な投擲手法である。

投擲直前に、テザーは長さ h_0 だけに運動エネルギーを与えられることに着目すると、投擲前後の子機およびテザー双方の運動エネルギーと位置エネルギーの関係は、式(1)のように表される。ここで、テザーがケースから繰り出される際に生じる抵抗は0とする。

$$m_k g h_0 + (\sigma h_0) g \frac{h_0}{2} + \frac{(m_k + \sigma h_0) v_0^2}{2} = m_k g (h_0 + h_a) + \sigma (h_0 + h_a) \frac{h_0 + h_a}{2} \quad (1)$$

よって、投擲高度 h_a は式(2)のように導出される。

$$h_a = \frac{-(m_k + \sigma h_0)g + \sqrt{\{(m_k + \sigma h_0)g\}^2 + \sigma(m_k + \sigma h_0)g v_0^2}}{\sigma g} \quad (2)$$

(b) 一体式 (Unified Type)

初期状態から最高点に至るまで、テザーの全長をケース内に収納したまま子機と一体で投擲する方式を「一体式」と呼ぶこととする (Fig. 2)。初期状態では、エンドエフェクタの内部にケースが格納されている。投擲直前に子機とテザー全長の双方に与えられた運動エネルギー $(m_k + \sigma Y) v_0^2 / 2$ が、最高時に位置エネルギー $(m_k + \sigma Y) g h_b$ に変換するとみなせるため、投擲高度 h_b は次式のように導出される。

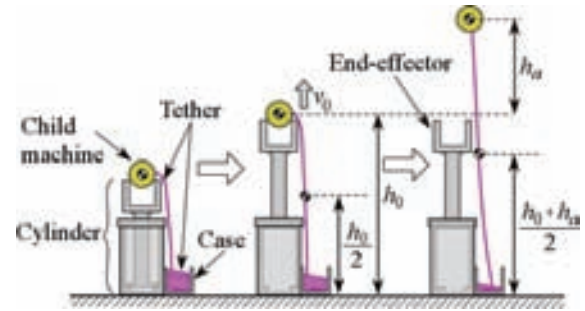


Fig. 1 Casting process by Fixed Storage Type.

$$h_b = \frac{v_0^2}{2g} \quad (3)$$

式(2), (3)の大小関係より、同一の v_0 （ただし $v_0 > 0$ ）のものとは $h_b > h_a$ が成り立つ。この差は、シリンダで生成される運動エネルギーが、一体式では巻かれているテザーの部分（以降、回収部）の全体に与えられるのに対し、固定収納式ではテザーの一部にしか与えられないことに起因する。

なお、本方式は、最高点で子機が外部環境に固定され、ケースを開いて重力方向にテザーを落とす操作を想定したものである。よって、テザーの投擲方法としては汎用性に欠けるものであるが、テザーの運動による影響を受けずに投擲される理想形として、比較の対象とする。

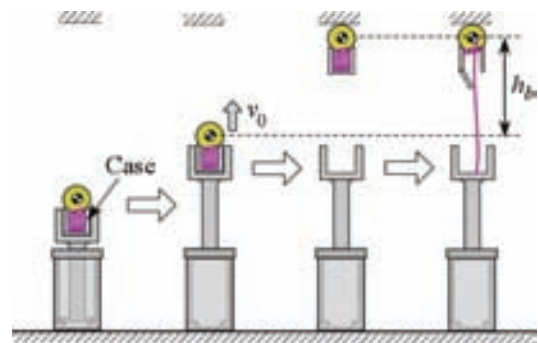


Fig. 2 Casting process by Unified Type.

(c) 放出式 (Discharge Type)

テザーの一端をシリンダに固定し、そのうえで巻き取り部を子機とともに投擲する方式を「放出式」と呼ぶこととする。初期状態でケースがエンドエフェクタ内に格納されている点は一体式と同様であるが、投擲後にテザーは空中に放出されながら子機が最高点に達する点が異なる。そして、放出の仕方は下記の2通りに大別される。

c1: 逐次放出式 (Gradual Discharge Type)

子機とケースを一体で投擲すると、テザーはケースから空中に逐次放出されながら上昇する。この投擲方法を「逐次放出式」と呼び、このときの子機の投擲高度を h_{cl} とする (Fig. 3)。本方式で子機とテザーに与えられる運動エネルギーは、一体式と同じとみなせるため、損失のない理想状態ではと考えられる。しかし実際には、空中でテザーが

ケースから繰り出される際に生じる抵抗の影響により、 h_{c1} は h_b より低下する。

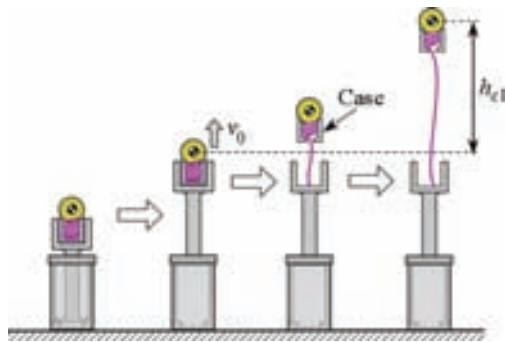


Fig. 3 Casting process by Gradual Discharge Type.

c2：瞬時放出式（Instantaneous Discharge Type）

ケースをエンドエフェクタ内に留めたまま子機とテザーを投擲すると、テザー全体が空中へ瞬時に放出されながら上昇する。この投擲方法を「瞬時放出式」と呼び、このときの子機の投擲高度を h_{c2} とする（Fig. 4）。逐次放出式の場合と同じ理由により、損失のない理想状態ではと考えられる。本方式は、ケースからテザーが繰り出されることによる抵抗は生じないものの、1）投擲の瞬間におけるテザーとケースとの間に生じる摩擦、2）回収部が空中に拡散することに伴う空気抵抗の増加、などの損失が作用するため、 h_{c2} も h_b より低下する。

上記2つの放出式に作用する損失の大きさは、テザーおよびケースの材質や構造など個々の設計要素に依存するため、一概にはこれらの大小関係を定めにくい。本論文では、4章で述べる収納ケースの損失軽減構造の導入により、 h_{c1} と h_{c2} の双方とも h_b に匹敵する高度が生成され得るものとして検討をすすめる。

3. 投擲高度を高めるシリンダ

前章では、ロッドの終端速度を同一と仮定して投擲高度の比較検討を行った。実際には、各投擲手法に応じてエンドエフェクタと共に移動する質量が異なるため、ロッドの終端速度も異なる可能性がある。本章の前半では、負荷を変えても高速動作を維持しやすいシリンダを導入し、後半ではそのシリンダをもとに移動する質量も考慮にいたれた投擲手法の選定基準を示す。

3.1 MBシリンダの導入

安全な範囲内で供給圧力が最高値に保たれた空圧回路について考える。Fig. 5(a)の回路は、シリンダに高速動作を生成する際に使われる一般的な回路である。この回路において、エンドエフェクタに搭載する負荷を軽くしても、ロッドの終端速度の大幅な上昇は望めない。なぜなら、負荷が軽い場合には、シリンダの内圧が供給圧力に比べて著しく低い状態でロッドが動き出してしまい、内圧が低下しなが

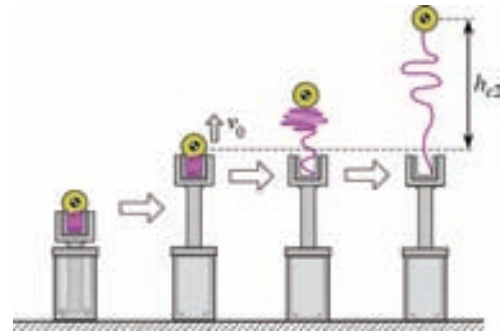


Fig. 4 Casting process by Instantaneous Discharge Type.

らロッドが伸展するからである。もちろん、有効断面積の大きい弁を使用すれば弁の流量が多いので、ロッドの終端速度の向上が期待できる。しかし、弁の大型化は装置全体の質量の増加を招くため、駆動系全体を軽量に保つことは困難となる。

そこで、MBシリンダ（Magnetic Brake Cylinder; 磁性ブレーキシリンダの略称）と名付けたシリンダを導入する。MBシリンダとは、Fig. 5(b)のようにキャップに永久磁石、ピストンに強磁性体を付加したシリンダに、タンクと小型切換弁を接続したものである。その基本動作は以下の2状態から成る。小型切換弁が排気状態のとき、ピストンは磁石に吸着してロッドは収納状態となっている。加圧状態のとき、ピストンを押す力が磁石の吸引力より大きくなった時点で磁石からピストンが脱離し、タンクからシリンダに大流量の圧縮空気が流入しながらロッドが伸展する。

MBシリンダの主な特徴は、i）ロッド起動時の圧力が磁石の吸引力で定まるため、負荷の大きさが変動しても一定である、ii）タンクがシリンダに直結しているため、ロッドの伸展中の内圧の急激な低下を防止できる、iii）小型切換弁はトリガの役割に過ぎないため、弁の応答性や有効断面積によらずロッドの終端速度の高速化を図りやすい、以上3点である。なお、シリンダの流入口のキャップ内の加圧室を二分することにより、ロッド起動時の圧力を任意に制御できることも明らかとなっている⁶⁾。

MBシリンダと従来型シリンダ（一般的な空圧回路による）の特性をシミュレーションで比較した結果をFig. 6の右側に示す。横軸の m_{eq} は、ロッド単独の質量 m_r 、子機の質量 m_k 、およびエンドエフェクタに作用するテザーの質量などを合わせたロッドの総質量を示す。シリンダのパラメータとしてTable 1に示す値を用いている。シミュレーションでは、シリンダ内の温度変化も考慮にいたれた内圧の動的変化を計算し、ロッドの終端速度を求めた^{7),8)}。制約条件として、双方の駆動系のタンク、およびシリンダの内径とストローク長は同じとし、駆動系全体の質量も同一としている。そのため、従来型シリンダでは、MBシリンダの場合より有効断面積の大きい弁を使用している。その結果、Fig. 6に示すようにMBシリンダの方が従来型シリンダに比べて1.3～

1.9倍程度速い終端速度を生成できることが明らかとなった。以後、本論文における投擲はMBシリンダの利用を前提とする。

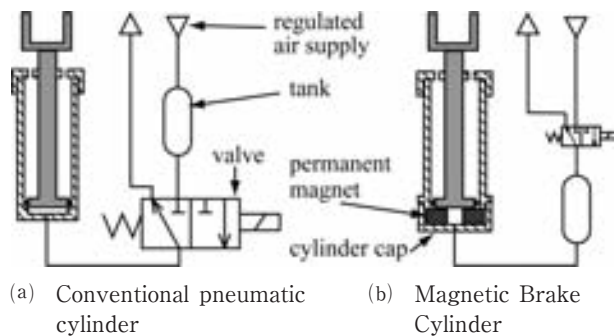


Fig. 5 Comparison of pneumatic circuits.

3.2 投擲手法の選定

MBシリンダによりテザー付き子機を投擲する際、高い投擲高度を生成しやすい手法を選定する基準を示す。

はじめに、固定収納式の投擲高度 h_a と一体式の投擲高度 h_b の2種類に関して、ロッドの総質量 m_{all} の差を考慮にいたれた比較を行う。各投擲手法における m_{all} は以下に示す通りである。

$$\text{固定収納式: } m_{all} = m_r + m_k + \sigma(h_0 - L/2) \quad (4)$$

$$\text{一体式, 放出式: } m_{all} = m_r + m_k + m_Q + \sigma Y \quad (5)$$

ここで、 m_Q はケース単体の質量を示す。また、固定収納式におけるロッドの総質量のうち、エンドエフェクタと共に移動するテザーの質量はロッドの伸展中に変化するが、ロッドの収納状態とストローク長 L だけ伸びた伸展状態との平均値として、式(4)に示すような簡略化を図る。

次に、式(2)、(3)より算出されるロッドの終端速度 v_0 と h_a および h_b との関係をFig. 6の左側に示す。ここで、テザーのパラメータとしてTable 1に示す値を用いている。

以上の準備のうえで、望ましい投擲手法は以下の手順に従って選定される。たとえば、固定収納式におけるロッドの総質量がFig. 6の点 A_1 と見積もられる場合、ロッドの終端速度は点 B_1 (C_1)になると予測され、このときの投擲高度 h_a は点Dとなる。一方、一体式による投擲高度 h_b が点D以上を生成するには、ロッドの終端速度が点 B_2 (C_2)以上を満たす必要がある。したがって、一体式が固定収納式の投擲高度を凌駕するための必要条件として、式(5)で算出される m_{all} は次式を満たすことが求められる。

$$m_{all} < m_{all}(A_2) \quad (6)$$

ただし、 $m_{all}(A_2)$ は点 A_2 における m_{all} の値である。

上記の考察は、固定収納式に対して逐次放出式または瞬時放出式を比較するうえでも、全く同様に適用できる。すなわち、式(5)で算出された放出式のロッドの総質量 m_{all} が式(6)を満たす場合には、放出式の投擲高度が固定収納式を凌ぐ可能性がある判断できる。一方、式(5)において $m_Q=0$ とお

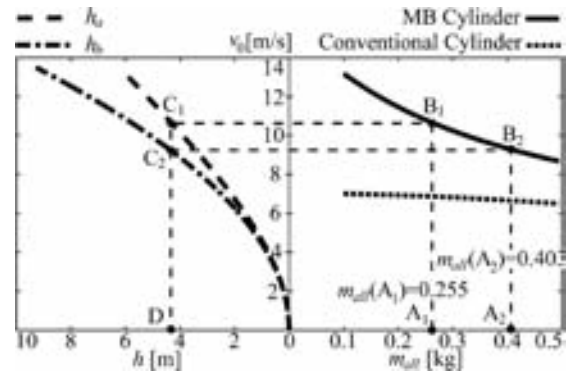


Fig. 6 Final velocity of the rod due to payload and the casting height for each method.

Table 1 Parameters for obtaining theoretical casting heights.

Parameter	Value
v_0 for fixed storage type (m/s)	10.75
v_0 for unified type (m/s)	10.5
σ (kg/m)	9×10^{-3}
Y (m)	8
m_k (kg)	56×10^{-3}
m_r (kg)	198×10^{-3}
L (m)	163×10^{-3}
h_0 (m)	292×10^{-3}
Internal diameter of cylinder tube (m)	29.9×10^{-3}

いても式(6)を満たさない場合は、ケースの設計如何によらず、固定収納式の方が高い投擲高度を生成することを意味している。

4. 抵抗軽減のためのケースの構造

テザー付き子機の投擲高度の向上を図るうえで、テザーに生じる損失の存在も看過できない。本章では、ケースの構造に工夫を施すことにより、テザーが繰り出される際の抵抗を軽減する方策を模索する。

4.1 テーパー形中空ケースの導入

はじめに、固定収納式におけるテザーの回収・繰り出し方法に着目する。テザー回収部の構造としてリールを使用すると、繰り出し中のリールの回転運動によるエネルギーの消費、および巻き取ったテザー全体が回転するために生じるテザーのよじれ、などにより投擲時の運動エネルギーが減少する。また、ケース内にテザーを無造作に入れるだけでは、繰り出し時にテザーが互いに擦れ合い摺動抵抗が生じやすい。

そこで、i) テザー全体が不動のままテザーが繰り出され、ii) テザーによじれを生じさせず、さらにiii) テザーが互いに干渉し合うことなく規則的に巻かれる構造として、テーパー形中空ケースを導入する。また、テザーは、撓ま

せて曲率半径を小さくすると軽微な復元力が生じる柔軟弾性体で構成されるものとする。まず、テザー回収前の初期状態では、テザーの先端部がケースの底部で内壁に沿うように設置されている。この状態から、ケースの外部より底部に向かってテザーを押し込むと、テザーはケースの内壁に沿って螺旋形状を保ちながら回収される。このとき、螺旋に隙間は生じず、テザー自体によじれもみられない。一方、繰り出し時には、ケースに対して螺旋形状は不動のまま、テザーの上部から順に繰り出されるため、テザー同志の摺動摩擦は生じず、またケースに対するテザーの繰り出し抵抗は軽微な大きさに抑えられる。

これは、テーパ形ケースに生じる特有の現象であり、円筒状ケースにはみられない。この理由は以下のように説明できる。ケース内で螺旋状に巻かれたテザーの最大傾斜線を含む断面に注目する。テザーの復元力 W_r は、ケースの水平面に対してテザーの最大傾斜角 ϕ_i だけ傾いた方向に内壁を押すように作用する。円筒状ケース (Fig. 7(a)) の場合、 W_r の内壁方向の成分 $W_r \sin \phi_i$ が、最下点Dでは下向きに作用して螺旋形状が保持されやすく作用するものの、最上点Uでは上向きに作用するため螺旋が崩れやすくなる。これに対して、中心軸から傾斜角 ϕ_s (ただし $\phi_s > \phi_i$ とする) だけ傾いたテーパケース (Fig. 7(b)) を用いた場合、最下点Dでは $W_r \sin(\phi_s + \phi_i)$ 、最上点Uでは $W_r \sin(\phi_s - \phi_i)$ が、双方ともケースの内壁に沿って下向きに作用するため、ケース内のあらゆる点で螺旋形状が保たれやすく安定である。

以上のように、テザーの繰り出し抵抗を軽減する収納方式としてテーパ形ケースは有効であり、固定収納式だけでなく逐次放出式においても抵抗軽減の効果があると期待できる。前者の場合には、MBシリンダとケースの中心軸が互いに平行になるように設置し (Fig. 8(a))、後者の場合には両者の中心軸が一致するようにテーパ先端を下向きに設置することにより (Fig. 8(b))、テザーをケースからスムーズに繰り出すことが可能となる。

4.2 展開式収納ケース

前節で導入したテーパ形ケースは、テザーが逐次的に繰り出される固定収納式や逐次放出式だけでなく、新たな機能の付加により、瞬時放出式における損失を軽減するうえでも効果を発揮する。

導入する構造は、エンドエフェクタに固定された展開機能を備えたケースである (Fig. 9)。すなわち、テーパ形中空ケースを中心軸に沿って2つに分離し、これらと一体化したフレームが、エンドエフェクタに設けたピボットを中心に受動的に揺動する構造である。一方、シリンダチューブに固定されたアームの先端には、受動ローラーを設けている。これにより、ロッドが最長に伸展した瞬間にフレームの末端が受動ローラーに押され、テーパ形ケースが展開する。このような展開機能は、投擲の瞬間におけるテザーとケース間の繰り出し抵抗の軽減だけでなく、テ

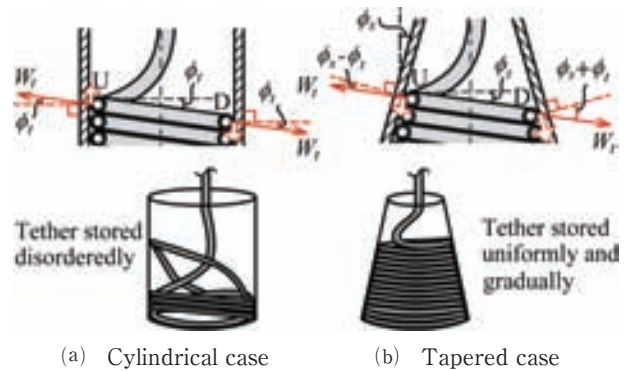


Fig. 7 Storing the tether into a cylindrical form case and into a tapered form case.



(a) Fixed storage type (b) Gradual discharge type

Fig. 8 Tether stored into a tapered form case.

ザー全体がテーパ形状のまま投擲され始めるため、テザーの空気抵抗の軽減にも効果があるものと期待できる。なお、本構造がロッドの伸展途中で展開するのを回避するため、ケースの先端部双方に磁石を装備し、互いに吸着するように設計されている。

5. 実験

5.1 開発した試作機

提案した手法の有効性を検証するために、試作機を用いて実験を行うことにした。試作機は、MBシリンダ、テザー付き子機、テーパ形ケースから構成されている (Fig. 10)。試作機の主仕様は、Table 1に示した通りである。

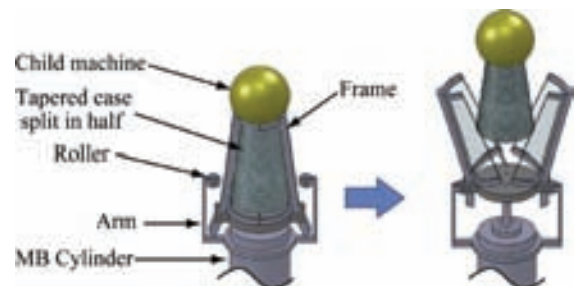


Fig. 9 Structure of a tapered case with opening function.

MBシリンダは、Fig. 5(b)の構成を基本とするものの、円筒状のタンクの内部にシリンダチューブが設置された二重構造とし、省スペース化を図っている。また、MBシリンダの下面には、2つの受動車輪と長さ2mの伸縮式ボールが取り付けられており、操作者はボールを傾けるだけで投

擲方向を簡便に調整することができる。

テザーは、断面が内径2mm、外径4mmのポリウレタン製の柔軟チューブを使用し、曲率半径50mmだけ撓んだときに復元力0.18Nを生成する。真空ポンプと連結すれば、子機の落下地点の気体を回収することも可能となる。また、子機は衝撃吸収機能を備えたゴムボールで構成されている。

一方、テーパー形ケースは、透明ポリエチレン製のシートを丸めたものを基本とし、固定収納式に使用されるケース (Fig. 11(a), 質量24g) を上下逆向きにし、一体式および逐次放出式にも併用することを想定した設計となっている。展開式収納ケースは、Fig. 10のMBシリンダのエンドエフェクタに取り付けて使用する (Fig. 11(b), 質量38g)。



Fig. 10 Casting device used in the experiment.

5.2 実験環境とその準備

テザーの投擲技術は、1章で述べた以外にも様々な現場で要求されている。消防活動におけるニーズの一例として、危険建物内の大気サンプルの回収が挙げられる。すなわち室内の大気を事前に回収し、有毒ガスの成分や濃度を調査して、消防隊員が突入する際の安全性を確認することが望まれている。本研究は当該用途への応用も視野に入れ、前述のチューブ付き子機を斜め上向きに投擲し、開いた窓を通して建物内にチューブの先端を搬送することを目標とした。

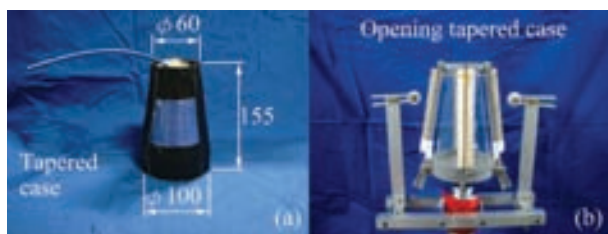


Fig. 11 Developed taper case for the fixed storage, the unified, and the gradual discharge type (a), and the one for the instantaneous discharge type (b).

実験では、子機の重心がたどる軌道の高度 H と水平飛距離 d に関して、22節で示した4種類の投擲手法を比較することにした (Fig. 12)。ここで、 H は地表からの鉛直方向の高さ、 d はMBシリンダの先端から水平方向の距離を各々示している。受動車輪と地面の接触点から見た目標地点の仰角を α とした時、投擲後の子機が最高点で開いた窓枠内を通過するように、MBシリンダの投擲角度 θ を調整する。

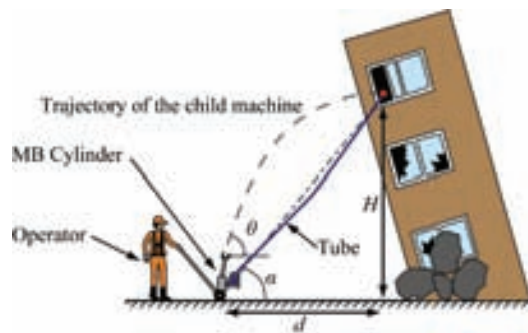


Fig. 12 Image of the experimental area in which air is assumed to be sampled from a dangerous building with difficult access.

目標の窓枠は縦1.6m横0.6mの長方形で、その中心はMBシリンダから $H=48\text{m}$ 、 $d=12\text{m}$ の地点に位置する (Fig. 13)。この地点に届くようにチューブの長さを $Y=8\text{m}$ と設定した。さらに製作したケースの質量も考慮すると、一体式・逐次放出式・瞬時放出式の各投擲手法におけるロッドの総質量は式(5)よりそれぞれ $m_{all}=0.35\text{kg}$ 、 0.35kg 、 0.364kg となる。これらはいずれも式(6)を満たすため、本実験では上記3つの投擲手法が固定収納式より高い投擲高度を生成できるものと予測した。

5.3 実験結果と考察

上記の設定のもとに、固定収納式・一体式・逐次放出式・瞬時放出式のすべての方式で実験を行った。一体式、逐次放出式、及び瞬時放出式を使用した場合、投擲高度は異なるが、室内への投擲は成功した。しかし、固定収納式の場合、子機の投擲高度は窓枠よりも低くなり、室内への進入はできなかった。



Fig. 13 Experiment using gradual discharge type casting

次に、方式による投擲高度の差異を調べるため、建物のない平地に向かって投擲実験を行った。その実験結果をFig. 14に示す。実験はいずれも5回ずつ行い、その結果を平均した値を記している。各水平飛距離における投擲高度は、60～150mm程度のばらつきはあったものの、概ね再現性のある結果が得られた。これは、テーパー形ケースの導入により、チューブの引き出し抵抗が安定していたためと

推察される。なお、水平飛距離に関しては、投擲開始点とほぼ同じ高さに落下するまで計測した。

4種類の投擲手法の比較に関しては、実験前の予測通り、本実験の条件下では固定収納式より他の3方式の方が高い投擲高度が得られた。従って、32節で導入した選定基準は妥当なものであったと判断できる。また、一体式に比べて、2つの放出式の投擲高度が低下した理由は、テーパー形ケースを適用したものの、22節(c)で指摘した損失が多少とも残存していたためと推察される。

一方、逐次放出式に比べて瞬時放出式の方が一体式に近い投擲高度を生成した理由は、瞬時放出式の展開式収納ケースが予想以上の損失軽減機能を発揮したためと考えられる。すなわち、高速撮影カメラが捉えた写真Fig. 15に示すように、投擲時にケースが瞬時に展開された後、チューブ全体はケースのテーパー形状を保持したまま放出されており、これは、投擲時のチューブとケース間の摩擦を軽減するうえで効果的だったものと考えられる。

この実験結果を検証するため、一体式および固定収納式で投擲される子機の軌道を付録に示す手法により、空気抵抗も考慮したシミュレーションにより求め、その結果をFig. 14に示した。そして実験結果に対して最大で8%程度の誤差はあるものの、概ね計算結果と類似した傾向をたどることも確認された。

6. 結 言

1本の空圧シリンダを用いてテザー付き子機を高く投擲することを目指し、投擲手法に関する新たな知見を示した。まず、シリンダで生成される運動エネルギーを有効活用するうえで、テザーの設置方法に着目した投擲手法を4種類に大別した。次に、高速動作を生成しやすいMBシリンダと名付けた駆動系を導入し、その動作特性に適した投擲手法の選定基準を述べた。さらに、テザーが繰り出される際に生じる抵抗を軽減するためにテーパー形回収ケースを提案した。そして、最後に試作機を用いた実験によりこれらの有効性を検証した。

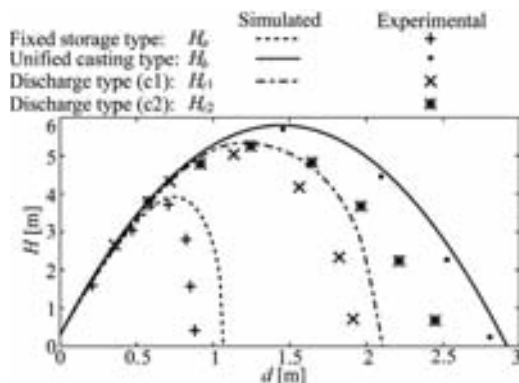


Fig. 14 Simulated and experimental results of the trajectories of the angled casting for each method.



Fig. 15 Instantaneous discharge type casting using the tapered case with opening function.

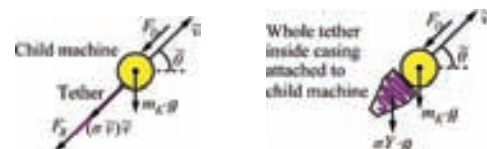
今後は、テザー付き子機の投擲装置を様々な移動ロボットに搭載することを前提に、オペレータの遠隔操縦により、投擲に加えてテザーの回収も行えるような装置を開発する予定である。また、テザー付き子機の投擲高度の制御手法についても検討する。

謝 辞

本研究は、総務省消防庁のご支援をうけて行われました。ここに深く謝意を表します。

付 録

子機の軌道のシミュレーションを行うため、テザーや子機の空気抵抗の影響を考慮した運動方程式を導く。Fig. 16では、固定収納式で投擲した場合と、一体式の場合に子機にかかる力を示す。ここでは、テザーに作用する空気抵抗は省略する。また、テザーは一直線に放出されると仮定する。



(a) Fixed storage type (b) Unified type

Fig. 16 Forces that interact with the child machine.

この時、子機は速度 $\tilde{v}$ と、水平に対して子機が進む角度は $\tilde{\theta}$ 以下のとおりとなる。

$$\tilde{v} = \sqrt{\dot{d}^2 + \dot{H}^2} \quad (7)$$

$$\tilde{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\dot{H}}{\dot{d}} \right) \quad (8)$$

また、子機の断面積を S_D 、抗力係数を C_D 、標準状態における空気の密度を ρ とすると、空気抵抗は以下の式で計算される⁹⁾。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho S_D \tilde{v}^2 \quad (9)$$

子機の運動方程式は、軌道に影響を与える空気抵抗や他の力を考慮した放物運動である。なお、一体式の投擲はテザーを収納したまま、空気抵抗の影響だけを考慮し、以下の式となる。

$$\ddot{d} = -\frac{F_D}{m_K + \sigma Y} \cos \tilde{\theta} \quad (10)$$

$$\ddot{H} = -g - \frac{F_D}{m_K + \sigma Y} \sin \tilde{\theta} \quad (11)$$

ただし、それぞれの初期値は以下の通りである。

$$\begin{aligned} \dot{d}|_{t=0} &= v_0 \cos \theta \\ \dot{H}|_{t=0} &= v_0 \sin \theta \\ d|_{t=0} &= 0 \\ H|_{t=0} &= h_0 \sin \theta \end{aligned} \quad (12)$$

逐次放出式の場合、式(10)と(11)にテザーと収納ケースとの間に生じる摩擦 F_R の影響を含む。

固定収納式の場合、子機に影響を与える力として、空気抵抗、テザーが時々刻々動き始める際に変化する単位時間当たり $\sigma \tilde{v}^2$ 運動量の反作用、すなわち $(-\sigma \tilde{v}^2)$ の力、テザーと収納ケースとの間に生じる摩擦 F_R が考えられる。従って、運動方程式は以下のとおりである。

$$\ddot{d} = -\frac{\sigma \tilde{v}^2}{m_K} \cos \tilde{\theta} - \frac{F_D}{m_K} \cos \tilde{\theta} - \frac{F_R}{m_K} \cos \tilde{\theta} \quad (13)$$

$$\ddot{H} = -\frac{\sigma \tilde{v}^2}{m_K} \sin \tilde{\theta} - g - \frac{F_D}{m_K} \sin \tilde{\theta} - \frac{F_R}{m_K} \sin \tilde{\theta} \quad (14)$$

式(13)と(14)の右辺第一項はテザーが動き始める際に変化する運動量による反作用の力である。最後の項は、空気抵抗の影響を示している。

式(7)～(14)を基にオイラー法を用いてシミュレーションを行い、固定収納式・一体式の投擲に伴う子機の軌道が得られる。なお、各パラメータは実機に合わせてTable 1、及びTable 2のように設定した。一方、摩擦 F_R は、計測した値の平均としてパラメータを導入する。

Table 2 Parameters for the trajectory simulation.

Parameter	Value
C_D (m/s)	0.45
S_D (m ²)	3.37×10^{-3}
ρ (kg/m ³)	1.29
θ (°)	80

瞬時放出式の場合、摩擦力の計測が困難であるため、パラメータを決めることができない。従って、今後、テザーとケース間の摩擦を精度よく推定できれば、テザー付き子機の軌道を予測するモデルの構築も可能になるものと期待できる。

参 考 文 献

- 1) Drenner, A., Burt, I., Kratochvil, B., Nelson, B.J., Papanikolopoulos, N., and Yesin, K.B.: Communication and Mobility Enhancements to the Scout Robot, in *Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Lausanne, Switzerland, p. 865-870 (2002).
- 2) 田中崇裕, 塚越秀行, 北川能: 災害現場での効率的情報収集を目指した投擲・回収型移動体の開発, 計測自動制御学会2004年度産業応用部門大会, p. 7-12 (2004).
- 3) Arisumi, H., and Komoriya, K.: Posture Control of Casting Manipulation, in *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Detroit, USA, p. 2811-2818 (1999).
- 4) Roh, S.G., Allan, B., Marshall, R., Kerr, S., Killen, D., and Hirose, S.: Development of Tethered Detachable Hook IV for Robot Locomotion in Extremely Rough Environments, in *2011 Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) Conference on Robotics and Mechatronics (ROBOMECH'11)*, Okayama, Japan, 1A2-Q03 (2011).
- 5) 森庸太郎, 塚越秀行, 北川能: 柔軟扁平チューブに沿ってスライドする流体アクチュエータ (第1報, Λ ードライブの提案とその動作解析), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 41, No. 5, p. 14-21 (2010)
- 6) ワタリエイリ, 塚越秀行, 北川能: ロボットの投擲・跳躍能力を高める磁性ブレーキシリンダ, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 1, p. 95-105 (2010).
- 7) Tsukagoshi, H., Sasaki, M., Kitagawa, A., and Tanaka, T.: Numerical Analysis and Design for a Higher Jumping Rescue Robot Using a Pneumatic Cylinder, *Trans ASME, Journal of Mechanical Design*, Vol.127, No. 3, p. 308-314 (2005).
- 8) Watari, E., Tsukagoshi, H., Kitagawa, A., and Tanaka, T.: A Higher Casting and Jump Motions Realized by Robots Using Magnetic Brake Cylinder, *Trans ASME, Journal of Mechanisms and Robotics*, Vol. 3, No. 4, p. 041002-041013 (2011).
- 9) Daugherty, R. L., and Franzini, J. B.: *Fluid Mechanics with Engineering Applications*, 6th edition, McGraw-Hill, p. 422-425 (1965).

日本フルードパワーシステム学会論文集 総目次 (第43巻)

【研究論文】

	号	通し頁		号	通し頁
水圧スイッチング動力伝達システムのエネルギー効率に関する研究 (第2報, シミュレータの構築および性能改善に向けた検討)	1	1	空気式パラレルマニピュレータを用いた手首リハビリテーション～筋電位信号に基づく訓練動作の提案～	3	85
Operational Evaluation of a Construction Robot Teleoperation with Force Feedback- Evaluation of Tele-robotic Force Perception using Auditory Feedback -	1	8	絞り制御弁内蔵型空気ばねを用いた鉄道車両の車体上下振動低減 (第2報, 一車両モデルのシミュレーションと実車走行試験による性能検証結果)	4	93
油圧アームの基底パラメータ同定法とモデル検証	1	16	空気圧ラバーレス人工筋の開発	4	102
単純適応制御の水圧サーボシステムへの適用	2	23	近接スイッチを利用した空気圧シリンダの繰返し位置決め (第1報, 制動法の提案)	4	109
空気圧バルーン型腱駆動アクチュエータのモデル予測制御	2	30	微粒子励振型空気流量制御弁の非線形性補償による流量制御	5	117
三次元内部流動様式を考慮した油圧シリンダ内部の一次元温度予測法	2	39	双方向型空気圧コンプレッサの開発と応用	5	122
空気圧ゴム人工筋を用いた二関節駆動を有する握力増幅グローブ	3	48	空気圧駆動型4脚移動ロボットの開発 (第1報: 外乱オブザーバの導入によるモーションコントロール)	5	128
柔軟空気圧シリンダを用いた伸縮・湾曲機構の試作と組込みコントローラによる姿勢制御	3	55	ガイド構造を有する平行円板間流れの騒音特性に関する研究	6	135
柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発 (先端屈曲機構の簡略化と外力推定)	3	62	層流型高速応答流量計を用いたソプラノリコーダー吹奏ロボットの呼気制御	6	143
突発的な負荷を考慮した6自由度人工筋肉マニピュレータの手先剛性制御	3	70	空圧シリンダによりテザー付き子機を高く投擲する方法	6	149
軸方向繊維強化型人工筋肉を用いた小腸検査用多段式蠕動運動型ロボットの開発 (第1報, 小型ロボットにおける弾性管内の走行と内視鏡との切り離しに関する検討)	3	77			

〒105
|
0011 東京都港区芝公園三丁目五―三二 電話(〇三)三四三三―八四四一 FAX(〇三)三四三三―八四四二
編集兼発行人 一般社団法人日本フルードパワーシステム学会 振替口座 東京〇〇―一〇―三一―三三六九〇

東京都文京区小石川一―三―七
印刷所 勝美印刷株式会社